



**Nuno Alexandre
Magalhães Correia**

**ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO DE
MONTAGEM DE CAIXAS DE VELOCIDADE**



**Nuno Alexandre
Magalhães Correia**

ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO DE MONTAGEM DE CAIXAS DE VELOCIDADE

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Leonor da Conceição Teixeira, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro e da Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Ana Maria Pinto de Moura
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Cristóvão Silva
Professor Auxiliar com Agregação da Universidade de Coimbra

Prof.^a Doutora Leonor da Conceição Teixeira
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

À Prof.^a Doutora Leonor da Conceição Teixeira e à Prof.^a Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos por toda a disponibilidade, ajuda e acompanhamento ao longo do projeto.

Ao Eng.^o Pedro Queiroz e ao Eng.^o Leonel Simões por todo o conhecimento partilhado, companhia todos os dias e aprendizagem.

À equipa de progresso contínuo, nomeadamente, ao Eng.^o Óscar Lopes, Eng.^o Pedro Mendes e Eng.^o José Bandeira pelo ambiente criado em todos os desafios propostos.

A toda a equipa da MB02 da Renault Cacia. Nunca vos vou esquecer.

À minha família que sempre me apoiou em todas as decisões, ajudou em todos os momentos críticos e difíceis durante este caminho. Um especial obrigado aos meus pais por todos os sacrifícios que passaram.

Ao clube de Natação do Clube Desportivo de Campinho de Albergaria-a-Velha, o qual tive o prazer de acompanhar e me envolver nestes últimos 12 anos. Um grande obrigado à minha treinadora Anabela Vieira e ao meu capitão Daniel Fernandes por todas as lições ensinadas, pelos valores de persistência, perseverança, ambição e motivação que deste de muito novo me foram inculcados. Contribuíram para o que sou hoje.

Por fim, agradeço a todos os amigos que me acompanharam ao longo destes anos todos. Sem dúvida que foi uma aventura incrível e que sem vocês, não seria o mesmo. Desejo-vos a melhor sorte do mundo.

palavras-chave

Automated Guided Vehicles, Desperdício, Fluxo de materiais, Melhoria contínua, Produtividade, Simulação, Valor.

resumo

O presente relatório descreve o processo de análise e melhoria de uma linha de montagem de caixas de velocidades na Renault Cacia, considerada a única linha flexível do Grupo Renault.

Através do mapeamento das atividades sem valor acrescentado em alguns postos de trabalho e da utilização de ferramentas do *Lean Manufacturing* foi possível reduzir as atividades sem valor acrescentado e, em algumas situações foi mesmo possível eliminá-las. Atividades como deslocações com e sem peça, manipulações de material e atividades ligadas à logística foram minimizadas. Estas atividades foram reduzidas em 25%.

Após a identificação dos postos críticos e das causas que afetam o rendimento operacional, procedeu-se à eliminação destas. Realizou-se um estudo de simulação para averiguar o impacto do posto tampão na linha de montagem ao fim de um turno. No mesmo estudo, diversos indicadores foram analisados com base em várias melhorias para, assim, ser delineado um plano de ação. Com a melhoria dos tempos de ciclo dos postos críticos, registou-se um aumento da produtividade em 7% da linha de montagem.

Com o intuito de automatizar os fluxos de materiais provenientes da logística, foram também implementados sistemas de *Automated Guided Vehicles* (AGV). Neste caso vários aspetos tiveram que ser estudados. O número de AGVs necessários e respetiva capacidade, localização dos sítios de carga e descarga, rotas, velocidades e alocação de tarefas às etiquetas eletrónicas traduzem dados relevantes para o estudo. Com a implementação dos AGVs, foi possível eliminar o transporte de cargas pesadas por parte do operador e o excesso de contentores no espaço de trabalho, contribuindo assim para uma melhor ergonomia, um aumento de segurança e uma maior produtividade.

keywords

Automated Guided Vehicles, Waste, Materials Flow, Continuous improvement, Productivity. Simulation, Value.

abstract

The report describes an analysis and the improvement of a gearbox assembly line at Renault Cacia, more specifically, in the single flexible line of Groupe Renault.

By mapping non-value added activities at some workstations and using Lean Manufacturing tools it was possible to reduce these activities, and, in some cases eliminate them. Activities such as movements with or without pieces, material manipulations and logistic activities were minimized. These activities were reduced by 25%.

After, the critical workstations were identified as well as the causes that affected the productivity. Upon identifying the causes, they were analyzed and eliminated. A simulation study was done to find out the effects of the bottleneck in the assembly line at the end of a full shift. In the same study, based on several improvements, some KPI's were analyzed to create an action plan. The improvement of the critical workstations cycle times resulted on an increase of the productivity by 7% of the assembly line.

In order to automate the flows of materials from logistics, Automated Guided Vehicles (AGVs) system were also implemented. For this to be done, several aspects had to be studied. The required number of AGVs and their capacity, picking and delivery locations, flow paths, speeds in different sections and assignment of tasks to electronic tags are relevant data for the study. With the implementation of the AGVs it was possible to eliminate the transport of heavy loads by the operator and the excess of containers in the workspace, thus contributing to a better ergonomics, an increase of safety and a greater productivity.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Contexto do trabalho e objetivos.....	1
1.2 Metodologia.....	2
1.3 Estrutura do relatório	2
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. <i>Lean Manufacturing</i>	5
2.1.1. Princípios <i>Lean</i>	8
2.1.2. Os sete Desperdícios.....	9
2.1.3. Valor Acrescentado / Valor Não Acrescentado.....	11
2.1.4. <i>Muda / Mura / Muri</i>	12
2.1.5. Diagrama de <i>Spaghetti</i>	13
2.1.6. Métricas <i>lean</i>	14
2.1.7. 5S	15
2.1.8. <i>Standard Work</i>	18
2.2. Análise dos Métodos de Trabalho	18
2.3. Simulação Aplicada	20
2.3.1. Aplicações da Simulação	20
2.3.2. Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	21
2.4. AGV – <i>Automated Guided Vehicle</i>	22
2.4.1 Benefícios dos AGVs	23
2.4.2. Elaboração Sistema AGV.....	23
3. Caracterização da empresa	29
3.1 Grupo Renault	29
3.2 Renault CACIA	30
3.2.1 Produtos	30
3.2.2 Estrutura Organizacional da Empresa	31
3.2.3 Processo de Fabricação de Caixas de Velocidade	32
3.2.4 Distinção	33
4. Desenvolvimento do projeto.....	35
4.1 Atelier 5 (AT5) – Linhas de Montagem de Caixas de Velocidade.....	35
4.2 Análise da MB02 – JR	38
4.2.1 Estado inicial	39
4.2.2 Estado futuro	41
4.3 Desenvolvimento de soluções	42
4.3.1 OP150 – Início da empilhagem dos baladers e pinhões	42

4.3.2	OP300 – Preparação CM	43
4.3.3	OP508 – Aperto do <i>Arret Gaine</i> , anel de elevação e esquadro	45
4.3.4	OP530 – Teste de estanqueidade	47
4.3.5	Zona de Descarga das Caixas de Velocidade	48
4.3.6	Simulação OP545/OP600/OP620	58
4.3.6.1	Implementação de Melhorias OP620	66
4.3.7	OP650.....	69
4.3.7.1	Implementação de um sistema AGV na OP650.....	71
4.3.7.2	<i>Layout</i> AGV	71
4.3.7.3	Cálculo nº AGV's	73
4.3.7.4	Melhorias OP650	76
4.4	Análise após melhorias	78
4.5	Outros projetos.....	80
4.5.1	Zona 400 – Abastecimento OP210, OP410-415.....	80
4.5.1.1	Análise VA/NVA Zona 400.....	81
4.5.1.2	Desenvolvimento do projeto Zona 400.....	83
4.5.1.3	Modo de funcionamento	84
4.5.1.4	Elaboração da paleta <i>kit</i>	86
4.5.1.5	<i>Layout</i> pólo de preparações	87
4.5.1.6	Abastecimento zona 400	88
4.5.1.7	Cálculo nº AGV's	89
4.5.2	Resultados esperados.....	90
5.	Conclusão	91
6.	Referências.....	93
7.	Anexos	101

Índice de Figuras

Figura 1 - Casa do TPS	6
Figura 2 - Os sete desperdícios	11
Figura 3 - Os três M's	13
Figura 4 - Diagrama de Spaghetti	14
Figura 5 - Os 5S	16
Figura 6 - Melhoria de um processo.....	19
Figura 7 - Diferentes tipos de AGV (a) (b) (c).....	23
Figura 8 - Configuração em circuito de um AGV	24
Figura 9 - Fábricas da Aliança Renault-Nissan	29
Figura 10 - Marcas da Aliança Renault-Nissan (2016)	30
Figura 11 - Fábrica da Renault Cacia	30
Figura 12 - Destinos exportação	31
Figura 13 - Estrutura da Renault Cacia	31
Figura 14 - Etapas produtivas de uma caixa de velocidades.....	32
Figura 15 - Caixa JR (esquerda) e caixa ND (direita).....	35
Figura 16 - Localização do AT5	36
Figura 17 - Linha 2 e Linha 3	37
Figura 18 - Estado inicial MB02	40
Figura 19 - Estado futuro MB02	41
Figura 20 - TCy OP150.....	43
Figura 21 - Fluxo secundário atual.....	44
Figura 22 - Localização da nova OP300	44
Figura 23 - Tcy OP300.....	45
Figura 24 - Percentagem de tarefas OP508.....	46
Figura 25 - Tcy OP508.....	47
Figura 26 - Tcy OP530.....	48
Figura 27 - Zona de descarga	49
Figura 28 - Representação Zona de descarga	50
Figura 29 - Fluxograma OP600.....	51
Figura 30 - Sequência OP600.....	52
Figura 31 - OP600 com 1 Perno	53
Figura 32 - OP600 com 2 Pernos (1ª amostra)	54
Figura 33 - OP600 com 2 Pernos (2ª amostra)	54
Figura 34 - Percentagem de índices JR.....	55
Figura 35 - Estudo variação OP600	55
Figura 36 - Causas de variação na OP600	56
Figura 37 - Modo de funcionamento OP620.....	57
Figura 38 - Análise VA/NVA OP620.....	58
Figura 39 - Estado futuro OP620	58
Figura 40 - Passos de um estudo de simulação.....	59
Figura 41 - Input Analyzer.....	60
Figura 42 - Modelo Arena	61
Figura 43 - Análise do Output	62
Figura 44 - Análise do lead time	63
Figura 45 - Análise do tempo na gravadora	63
Figura 46 - Análise ao número de caixas em fila de espera.....	64
Figura 47 - Análise ao tempo em fila de espera	64
Figura 48 - Percentagem de utilização dos recursos	65
Figura 49 - Análise ao Work in Progress.....	65
Figura 50 - Disposição das ferramentas.....	67
Figura 51 - Redução do número de peças e caixas	67
Figura 52 - Análise ao defeito de palete rotativa	68

Figura 53 - Antes e depois VA/NVA OP620.....	68
Figura 54 - Tcy OP620	69
Figura 55 - Deslocações OP650.....	69
Figura 56 - Análise VA/NVA OP650	70
Figura 57 - Situação atual OP650	71
Figura 58 - Situação futura OP650	71
Figura 59 - Trajeto do AGV OP650.....	72
Figura 60 - Semáforo AGV e Etiqueta RFID	73
Figura 61 - Folha de Excel para calcular o número ótimo de AGVs.....	75
Figura 62 - Antes e depois VA/NVA OP650.....	76
Figura 63 - Tcy OP650	77
Figura 64 - Estado alcançado.....	78
Figura 65 - OP600 com 1 Perno após melhorias	79
Figura 66 - OP600 com 2 Pernos após melhorias	79
Figura 67 - Deslocações Zona 400.....	80
Figura 68 - Análise VA/NVA Zona 400	82
Figura 69 - Número de paletes abastecidas	82
Figura 70 - Número de peças abastecidas OP210	83
Figura 71 - Possibilidade de abastecimento OP210	83
Figura 72 - Fluxo atual Zona 400.....	85
Figura 73 - Modo de abastecimento futuro Zona 400	85
Figura 74 - Protótipo 3D da nova paleta kit.....	86
Figura 75 - Protótipo paleta kit.....	87
Figura 76 - Layout pólo preparações	88
Figura 77 - Abastecimento AGV na zona 400.....	89
Figura 78 - Número de AGVs necessários para a Zona 400	89
Figura 79 - VA/NVA estimado Zona 400.....	90

Índice de tabelas

Tabela 1 - Produção em massa vs. Produção Lean.....	7
Tabela 2 - Operações da MB02	38
Tabela 3 - Operações da MB02 (continuação).....	39
Tabela 4 - Operações críticas	42
Tabela 5 - Repartição tarefas OP530.....	47
Tabela 6 – Tarefas VA/NVA da OP620.....	57
Tabela 7 - Resultados Cenário 0	61
Tabela 8 - Descrição dos cenários simulados.....	62
Tabela 9 - Resumo dos resultados da simulação.....	66
Tabela 10 - Dados referentes a uma deslocação em diferentes contentores	70
Tabela 11 - Tarefas das Tag's	73
Tabela 12 - Teste à capacidade do AGV	74
Tabela 13 - Ganhos diários OP650 (Produção: 600JR)	76
Tabela 14 - Resumo das melhorias nos postos	78
Tabela 15 - Matriz de distâncias	81
Tabela 16 - Tarefas VA/NVA Zona 400.....	81
Tabela 17 - Listagem de peças do kit	87

Lista de Acrónimos e abreviaturas

AGV – Automated Guided Vehicle

AP – Árvore Primária

APW – Alliance Production Way

AS – Árvore Secundária

AT – Atelier

CED – Cáster de Embraiagem

CM – Cáster de Mecanismo

CPU – Chefe de Projetos Usine

CSC – Clutch Slave Cylinder

CV – Caixa de Velocidades

FIFO – First in First Out

JIT – Just in Time

MB02 – Montage Boitiée 2 (Linha de Montagem 2)

MB03 – Montage Boitiée 3 (Linha de Montagem 3)

MOD – Mão de Obra Direta

MZK – Monozukuri

NVA – Não Valor Acrescentado

OP – Operação

RO – Rendimento Operacional

TCY – Tempo de ciclo

TPS – Toyota Production System

VA – Valor Acrescentado

WIP – Work in Progress

1. Introdução

O mercado global tornou-se altamente competitivo nas últimas décadas, obrigando as empresas a aceitar o desafio da melhoria contínua. O aumento da concorrência no mercado tem vindo a colocar enorme pressão nas organizações para estarem continuamente a melhorar a qualidade dos seus produtos e serviços de uma forma sustentável, de maneira a melhorarem a sua reputação e posição no mercado. O desempenho de uma empresa tem que ser melhorado através da melhoria da qualidade dos seus produtos/serviços, otimização de custos, aumento da produtividade, flexibilidade, segurança e pela garantia de entregas nos prazos estipulados.

A instabilidade do mercado, faz com que as organizações adotem práticas ou métodos que facilitam a melhoria contínua. Assim, surge uma nova filosofia de gestão chamada *Lean Manufacturing*, cujo principal objetivo é a maximização do valor para o cliente através da eliminação de desperdícios gerados pela produção. Esta filosofia representou uma revolução na indústria automóvel, fazendo com que muitas empresas alterassem a sua cultura organizacional. Com este novo tipo de pensamento, entregar os produtos certos, na quantidade certa, no local certo, à hora certa de forma eficaz e eficiente, é uma prioridade.

A Renault Cacia não é exceção e por isso, também faz questão de melhorar o seu desempenho. Fatores como qualidade dos produtos, rendimento operacional e prazo de entrega, são fulcrais para o rápido desenvolvimento da Renault Cacia e por isso, ter uma cultura de melhoria contínua na empresa é muito importante. Para continuar a ser uma das melhores empresas no setor automóvel, a Renault necessita de inovar e eliminar todos os desperdícios inerentes ao processo.

O trabalho foca-se sobretudo na produtividade associada à montagem de caixas de velocidade na linha responsável pela produção de 2 tipos diferentes de caixas. De todos os postos que constituem a linha de montagem, procura-se identificar aqueles que mais prejudicam a linha e que impedem que o objetivo delineado para o ano transato seja alcançado. A melhoria destes postos críticos procurará garantir que a linha atinja um nível superior e capaz de cumprir com a produção desejada. Através da definição de valor para a linha de montagem e para o cliente, pretende-se identificar e reduzir ao máximo as atividades que não acrescentam valor ao processo, cliente e à organização.

Também se procura aumentar ao máximo a sincronização entre os vários departamentos da Renault. Ou seja, todas as peças que são produzidas num determinado momento devem ser encaminhadas diretamente para consumo de outras zonas independentes da fábrica ou, para o armazém para serem expedidas de imediato. Para isto ser possível, são usados *Automated Guided Vehicles*. Estes *robots*, ultimamente têm sido utilizados para executar um grande número de tarefas repetitivas, como o transporte e armazenamento de cargas, em fábricas, armazéns e centros de distribuição. Quando bem implementados, é possível automatizar os fluxos de matérias dentro da empresa, garantido que há material apenas quando o cliente necessita, nas quantidades certas, na ordem correta e no local desejado.

1.1 Contexto do trabalho e objetivos

O trabalho apresentado foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro. O projeto decorreu no departamento de

fabricação da Renault Cacia, mais especificamente no setor das linhas de montagem de caixas de velocidade.

Embora este setor tenha duas linhas de montagem, o projeto foi realizado na única linha flexível do Grupo Renault, capaz de produzir dois tipos de caixa diferentes. Por ser uma linha flexível, é mais complexa e possui menor capacidade produtiva quando comparada à outra linha, que está desenhada para produzir um único tipo de caixa.

O projeto recai sobretudo na análise e otimização da linha de montagem de caixas de velocidade (MB02) e tem como objetivos:

- Identificação do recurso gargalo;
- Identificação dos postos que colocam em causa o desempenho da linha;
- Melhoria dos postos críticos;
- Aumento da produção em 7%;
- Redução de atividades de Não Valor Acrescentado;
- Minimizar a variabilidade no processo;
- Automatização de fluxos de material através da implementação de sistemas AGV.

1.2 Metodologia

Para cumprir os objetivos estabelecidos, várias ações têm que ser executadas no sentido de fundamentar e facilitar a decisão. Antes de qualquer estudo ser efetuado, é necessário conhecer profundamente todo o processo e perceber o porquê das coisas acontecerem. Após o total conhecimento da linha, uma análise aos tempos de cada posto é efetuada e a identificação dos postos críticos é feita. Com estes postos identificados, ações de melhoria são aplicadas. Também há espaço para o mapeamento de atividades de valor e de não valor acrescentado para a linha de montagem e posterior redução das atividades de não valor acrescentado.

Quanto à implementação de um sistema AGV é necessário determinar: o número de veículos necessários, a rota dos mesmos, locais de paragem, velocidades em cada ponto da fábrica, capacidade do AGV e locais das etiquetas magnéticas.

A simulação também é utilizada para testar vários cenários hipotéticos no posto tampão e, assim, analisar os resultados destes mesmos cenários, por forma a haver uma melhor compreensão do impacto dos cenários na linha de montagem.

1.3 Estrutura do relatório

O presente documento está dividido em cinco capítulos principais, sendo que cada um terá subcapítulos:

- **Capítulo 1** – Neste capítulo é apresentada uma pequena introdução e uma breve contextualização do problema, bem como os objetivos a atingir, a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto e a estrutura do relatório;
- **Capítulo 2** – Apresenta uma revisão bibliográfica enquadrada no tema em estudo. É explicado o aparecimento e desenvolvimento do *Lean Manufacturing* e posteriormente algumas das ferramentas do *Lean* que irão ser utilizadas no

trabalho. O conceito de simulação é explicado e são apresentadas algumas vantagens e desvantagens do uso da mesma, como aplicações segundo alguns autores. Ainda no mesmo capítulo, é explicado o que é um AGV e de que forma devem ser elaborados sistemas AGV de maneira eficiente;

- **Capítulo 3** – Apresenta a empresa onde o trabalho foi desenvolvido, os produtos que fabrica e o processo produtivo de forma geral;
- **Capítulo 4** – Neste capítulo dá-se início à análise da linha de montagem através de diversas metodologias. Após a identificação de oportunidades de melhoria, vários planos de ação são planejados e executados com vista a melhorar a produtividade da linha e diminuir as atividades sem valor acrescentado. De forma a automatizar o transporte de produto acabado para a logística, é implementado um sistema AGV. Numa fase final é iniciado um outro projeto envolvendo AGVs, de modo a abastecer a linha em *kits* de forma sincronizada.
- **Capítulo 5** – São apresentadas as conclusões do projeto efetuado e o cumprimento dos objetivos estipulados inicialmente.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Lean Manufacturing

O *Toyota Production System* (TPS) surgiu devido às evoluções nos sistemas de produção, ao desenvolvimento das tecnologias e à mudança da forma de pensar dos gestores de topo.

A produção artesanal caracterizava-se pelo seu elevado grau de personalização, adaptando-se às necessidades do cliente, embora tivesse um custo elevado e fosse um processo moroso. Neste tipo de produção era muito difícil conseguir criar dois produtos iguais.

Em inícios do século XX, Henry Ford concebeu o sistema de Produção em Massa, tendo sido aplicado com sucesso na *Ford Motor Company*, tendo-se tornado numa referência para a indústria automóvel. Esta nova forma de produzir assentava na produção em larga escala de pouca diversidade, com recurso a linhas de montagem e a processos mecanizados.

Com a evolução da indústria e o passar dos anos, a concorrência foi aumentando e com isso surgiu, naturalmente, a diversificação de produtos e um aumento da complexidade nos mercados mundiais. Para responder a tais requisitos, as empresas tinham que se preocupar mais com os custos inerentes à produção e à sua vantagem competitiva.

Depois da segunda guerra mundial, o ocidente dominava o mercado automóvel. Apesar disto, existiam muitos desperdícios durante a produção, *stocks* elevados e processos de gestão inflexíveis, fazendo com que a indústria não se adaptasse às necessidades do mercado. Segundo Womack, Jones e Roos (1990), a produção em massa após este período pós Guerra deixava muito a desejar em termos de atendimento às necessidades dos mercados emergentes, cada vez mais diversificados e exigentes.

Por essa mesma altura, o Japão caracterizava-se pela extrema falta de recursos e necessidade de forte recuperação económica, de modo a poder competir com estas indústrias com grandes recursos e sem tantas limitações. Assim, esta conjuntura de recursos escassos e limitados, associados a uma competitividade feroz de preço e quantidade, surgiu, na *Toyota Motor Company*, uma metodologia de produção que assentava na capacidade de produzir com o mínimo de atividades, suprimindo as que não traziam qualquer valor acrescentado. Esta situação conduziu, inevitavelmente, à minimização dos custos de produção (Hobbs, 2004).

Este novo sistema de produção, designado por *Toyota Production System* (TPS), desenvolvido por Taiichi Ohno e a sua equipa de Engenharia, adaptou-se então a esta nova realidade: clientes que exigiam produtos inovadores, num curto espaço de tempo, com a máxima qualidade e a um preço inferior (Tersine & Wacker, 2000; Lau et al., 2002; Ho et al., 2005).

Para esse mesmo efeito, foi necessário reduzir *lead times* na produção, diminuir *stocks* e programar a produção, não em função de previsões de venda, mas sim em função do que o cliente efetivamente quer.

O TPS foca-se na eliminação de qualquer tipo de desperdício e inconsistência no sistema produtivo e, para isso, usa técnicas como o *Just in Time* (JIT), troca rápida de ferramentas e criação de lotes pequenos de produção, ao contrário do que era feito pela produção em massa. A aposta na qualidade e o foco no cliente eram agora uma prioridade. Esta abordagem representou uma revolução na produção automóvel e o seu sucesso nas

últimas décadas fez da Toyota uma referência a nível mundial no setor automóvel (Womack, Jones & Roos, 1990).

Ohno (1988) diz que o TPS foi projetado para tornar visíveis os problemas e para desafiar as pessoas para que cresçam e se tornem melhores solucionadores de problemas. O TPS é exibido como uma casa para ilustrar que é um sistema que funciona corretamente apenas se todos os elementos funcionarem em conjunto (Figura 1). Os dois pilares que sustentam a “casa” são o *Just-in-Time* e o *Jidoka*.

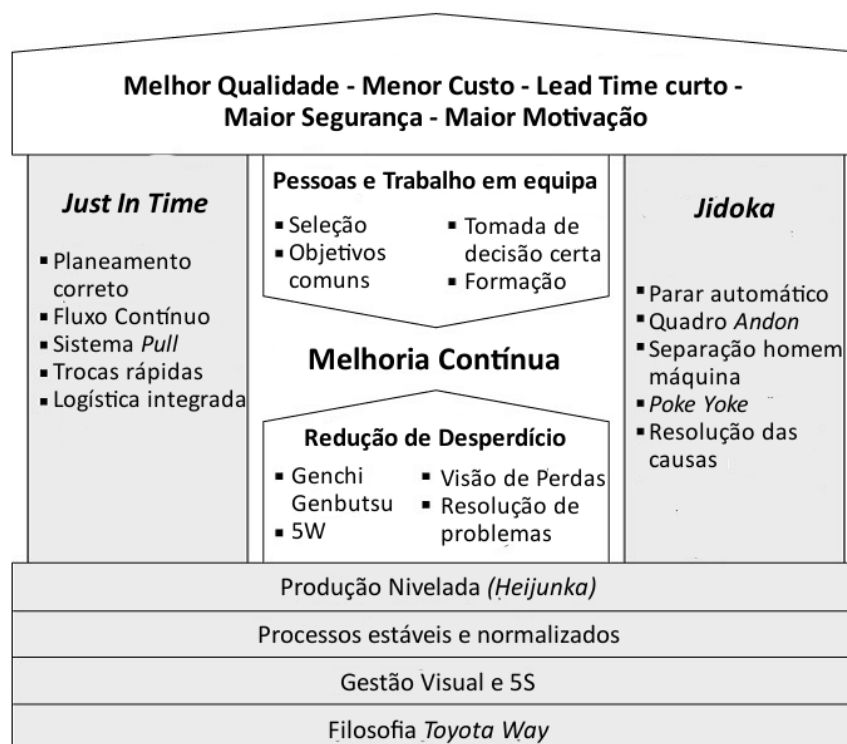


Figura 1 - Casa do TPS (adaptado de Liker et al., 2004)

O objetivo do JIT é produzir o produto certo, no tempo certo e na quantidade certa, removendo todo o *stock* desnecessário (Tiwari, Dubey & Tripathi, 2011). É um sistema de produção no qual cada processo se baseia num ritmo constante (*takt*) para satisfazer a procura do cliente. O cenário ideal seria a inexistência de *stocks* entre processos, mas devido à variabilidade da procura e dos processos é necessário a existência de *stocks* mínimos de segurança.

O *Jidoka* refere-se a uma máquina com inteligência que pára quando há algum problema. Esta ideia desdobra-se em várias ferramentas como o sistema *Andon*, onde o equipamento ou as pessoas deixam de produzir e sinalizam a existência de um problema para obter ajuda com o objetivo de solucionar e não deixar avançar o problema. Outro é o sistema *Poka-Yoke*, sendo um sistema à prova de erros destinado a evitar a ocorrência de defeitos em processos de produção e na utilização de produtos.

O TPS tornou-se na base de uma nova filosofia de gestão chamada *Lean Manufacturing*, cujo principal objetivo é a maximização do valor para o cliente através da eliminação de desperdícios gerados pela produção (Krafcik, 1988; Womack & Jones, 2003; Belekoukias, Garza-Reyes & Kumar 2014). Ao eliminar os desperdícios, é possível reduzir

os custos, aumentar a qualidade e tornar os fluxos mais eficientes (Liker, 1996; Koning et al., 2006).

Na tabela 1 é possível ver as características e diferenças da produção em massa e da produção *Lean*.

Tabela 1 - Produção em massa vs. Produção *Lean* (adaptado de Melton, 2005)

Características	Produção em Massa	Produção <i>Lean</i>
Base	Henry Ford	Toyota
Operador	Profissionais pouco qualificados	Equipas de operadores multifacetados em todos os níveis da organização
Equipamento	Dispendioso, com um único propósito	Manual e sistemas de automatização aptos a produzir produtos de grande variedade
Método de produção	Grandes volumes do mesmo produto	Fazer produtos de acordo com a vontade do cliente
Filosofia organizacional	Gestão toma a responsabilidade	Delegação de responsabilidades na hierarquia da organização
Filosofia	Qualidade suficiente	Atingir a perfeição

Para Ortiz (2006), os principais fatores da implementação de um sistema *lean* são a redução de *lead times* e a gestão de custos. Os *lead-times* são reduzidos, eliminando o desperdício na produção, conseguido através da implementação de um trabalho normalizado e devidamente documentado, e implementando ferramentas como os 5S (centrada na limpeza e organização do espaço de trabalho).

No entanto muitos gestores, em vez de gerir os custos, limitam-se a cortar os mesmos. Despedir, improvisar ou pressionar sistematicamente fornecedores e clientes não torna a empresa mais competitiva e sendo o *lean* criação de valor, é também valorização do capital humano. Apenas o valor justifica a existência de uma organização (Pinto, 2009).

É neste sentido, da criação de valor, que Womack e Jones (2002) enunciam algumas das características de uma cadeia de valor *lean*:

- Os colaboradores devem saber qual a taxa de consumo do cliente para um determinado produto. Isto implica que não hajam barreiras de informação excessivas e que os colaboradores saibam do *takt time* necessário para satisfazer uma dada encomenda;
- *Lead time* reduzido, com a produção devidamente balanceada;
- Redução no processamento de informação, que deve ser transmitida de forma clara e concisa;
- Minimização de fluxos de transporte, quer na produção quer na logística;

- Pouco *stock*. As quantidades de matéria prima, produto acabado, *work-in-progress* (WIP) e *stocks* de segurança devem ser minimizadas, de modo a responder à volatilidade da procura.

A filosofia *Lean* encoraja os trabalhadores a sugerir e a fazer melhorias constantes nas áreas de trabalho, processos e serviços para reconhecer os problemas ou desperdícios associados ao sistema, de maneira a eliminá-los (Hemmant, 2005). Para isso, é importante que haja um compromisso por parte de todos os trabalhadores, incluindo a gestão de topo. Numa empresa que adote esta filosofia, será necessário que os trabalhadores tenham formação para adquirirem competências e assim, tomar decisões e efetuar ajustes ao seu próprio trabalho de forma a serem mais eficientes (Fullerton & McWatters, 2002).

Segundo o estudo de Womack e Jones (1996) foram encontrados benefícios resultantes da aplicação da filosofia em diversas empresas:

- **Crescimento do negócio** – valores superiores a 30% num ano;
- **Aumento da produtividade** – valores entre 20 a 30%;
- **Redução dos *stocks*** – valores típicos apontam para reduções superiores a 80%;
- **Aumento do nível de serviço** – valores entre 80 a 90%;
- **Aumento da qualidade e do serviço prestado ao cliente** – redução dos defeitos: 90%;
- Maior envolvimento, motivação e participação das pessoas;
- **Redução de acidentes de trabalho**: 90%;
- **Redução de espaço ao nível do *shop floor*** – valores na ordem dos 40%;
- Aumento da capacidade de resposta por parte da empresa;
- **Redução do lead time** – valores típicos de 70 a 90%.

De acordo com (Krafcik, 1988), à medida que as empresas adotam políticas *lean*, a performance tende a aumentar. Esta relação é especialmente forte para a produtividade.

O conceito de *Lean* não é só restrito à indústria automóvel. Também é aplicável a quase todo o tipo de indústrias (Crute et al., 2003). O elevado número de casos de sucesso relativamente à implementação deste novo tipo de gestão em indústrias automóveis, fez com se disseminasse a indústrias e sectores diferentes: química, aeroespacial, eletrónica, serviços, hotéis, tecnologias de informação, organizações de saúde, laboratórios, produtos florestais, serviços públicos e organizações militares (Bowen & Youngdahl, 1998; Atkinson, 2004; Abdi, Shavarini, & Hoseini, 2006; Halwachs-Baumann, 2010; Schiele & McCue, 2011; Staats, James, & Upton, 2011; Simon & Canacari, 2012; Teichgräber & de Bucourt, 2011; Vlachos & Bogdanovic, 2013; Bateman, Hines, & Davidson, 2014; Lyon, Quesada-Pineda, & Crawford, 2014).

2.1.1. Princípios *Lean*

Os autores Womack e Jones (2005) defendem que uma forma de pensamento *lean* permite às empresas “Especificar valor, alinhar valor criando ações na melhor sequência possível, realizar essas atividades sempre que alguém as solicita e executá-las cada vez mais eficazmente”. Esta afirmação conduz aos 5 princípios do pensamento *lean*: Valor, Cadeia de Valor, Fluxo, *Pull* e Perfeição:

1. **Valor** – Valor pode ser descrito como a capacidade de fornecer produtos ou serviços no tempo certo, ao preço apropriado a fim de satisfazer as necessidades do cliente. Portanto, só pode ser definido pelo cliente e deve ser o ponto de partida para o pensamento *lean* (Womack, Jones & Roos, 1990; Womack & Jones 2005). É essencial especificar o que é realmente necessário. Caso contrário a definição de valor pode ser distorcida. Fornecer o produto ou serviço errado da maneira correta, é desperdício. É crítico definir o conceito de valor de forma precisa.
2. **Cadeia de Valor** – A cadeia de valor são todas as ações (de valor acrescentado e de não valor acrescentado) necessárias para desenvolver e produzir um produto ou entregar um serviço. Envolve os fluxos essenciais a todos os produtos, desde o conceito, *design* e engenharia, transformação das matérias-primas, produto final e distribuição até ao cliente final (Rother & Shook, 2003);
3. **Fluxo** – Após o valor ser definido, a cadeia de valor mapeada e os desperdícios eliminados, os produtos devem fluir entre as restantes tarefas de valor acrescentado. O produto deve fluir ao longo da cadeia de valor sem paragens e retrabalho, nunca voltando às tarefas antecedentes. O conceito de fluxo vem substituir o tradicional modo de trabalho de lote e espera, que era derivado da produção em massa. Mudança rápida de ferramentas e colocação de tarefas sequenciais próximas umas das outras, são maneiras de criar fluxo;
4. **Pull** – O cliente é que deve iniciar todo o processo de produção, de acordo com as suas necessidades. O produto é produzido na quantidade certa, na hora certa e corresponde ao desejado, não havendo necessidade de produzir em excesso, permitindo reduzir *stocks*;
5. **Perfeição** – A melhoria do produto e dos processos não tem fim. A filosofia *lean* tem como objetivo a procura incessante da melhoria (Womack & Jones, 2003; Hines, Holweg & Rich, 2004; Bhasin & Burcher, 2006).

Para além destes 5 princípios, Gibbons et al. (2012) defendem que deve ser acrescentado mais um princípio, baseado no seu estudo:

6. Mapear todos os recursos, percebendo a relação entre pessoas, produtos, processos e espaço fabril.

2.1.2. Os sete Desperdícios

Como Ohno (1988) refere, o tempo entre a ordem de encomenda do cliente até entrega do produto deve ser estudado e os desperdícios inerentes ao processo devem ser eliminados de maneira a que esse tempo seja reduzido. Os sete desperdícios identificados por Ohno (1988) são:

1. **Defeitos** – Problemas de qualidade podem gerar queixas por parte do cliente. Podem ser detetados antecipadamente na inspeção dos produtos pelo cliente ou pela equipa de inspeção. Estes problemas estão relacionados com a falta de procedimentos *standard*, erro humano ou controlo de qualidade e têm um impacto negativo na produtividade e custos de produção.
2. **Inventário** – O excesso de inventário geralmente é criado devido à existência da mudança lenta de ferramentas, processos que não estão balanceados e por motivos de variabilidade da procura. Como consequência, é necessária uma área maior para armazenar todo este material e mais operações de manipulação. Hines e Rich (1997) mencionam que os problemas estão escondidos no inventário e não são imediatamente detetados. Para corrigir esta situação, é essencial reduzir o inventário para, assim, haver uma rápida identificação dos problemas.
3. **Movimento** – Todos os movimentos dos trabalhadores que não acrescentam valor ao produto. Muitas vezes está relacionado com a disposição das ferramentas e componentes na área do trabalho ou com aspetos ergonómicos que exigem maior esforço do trabalhador. Este desperdício leva a uma baixa produtividade e, consequentemente, a problemas de qualidade.
4. **Sobreprocessamento** – Operações que não acrescentam valor à empresa podem ser consideradas desperdício. Nesta categoria encontram-se todos os processos de utilização incorreta de equipamentos ou processos que não correspondam ao *standard* do posto e, como tal possam aumentar a probabilidade de ocorrência de defeitos no produto.
5. **Sobreprodução** – Resulta de produzir mais do que necessário ou antes de serem necessários. Como consequência, são usados recursos sem haver nenhum retorno, havendo um aumento do *stock* e do espaço necessário para armazenar o material em excesso, tendo impacto no planeamento de produção que torna assim menos flexível. Este é considerado o pior desperdício, uma vez que impede que haja um fluxo constante de produtos ou serviços, tendendo a reduzir a qualidade e a produtividade. O excesso de produção tende a aumentar o *lead time* e o tempo de armazenamento. Como resultado, defeitos podem não ser detetados a tempo e os produtos podem desvalorizar e deteriorar-se. O sistema *pull* e *kanban* foi desenvolvido pela Toyota para ultrapassar este desperdício.
6. **Transporte** – Para movimentar produtos e material dentro de uma fábrica, é necessário a existência de sistemas de transporte. Estes são caros, necessitam de manutenção e, por vezes, podem danificar alguns produtos através da sua incorreta utilização.
7. **Espera** – Tempo desperdiçado pela espera de pessoas, material ou equipamentos. Pode acontecer devido ao fluxo inconstante de peças, problemas no *layout* da empresa, atrasos na entrega de componentes e no fraco balanceamento dos processos. Na ocorrência de tempos de espera, este deve ser usado para

formação, limpeza, manutenção ou atividades *kaizen*, mas nunca para produzir mais do que o desejado (Hines & Rich, 1997).



Figura 2 - Os sete desperdícios (Adaptado de: <http://www.tqsómi.co.uk/8-wastes/>)

Adicionalmente aos sete desperdícios, há mais um que deve ser acrescentado pois é importante e, portanto, deve ser considerado na lista (Liker & Meier, 2006):

8. **Talento** – O desperdício do potencial humano pode levar a oportunidades de melhoria perdidas. Corresponde ao não aproveitamento das pessoas, isto é, o seu conhecimento, experiência e inteligência. Segundo Ohno (1988), um dos objetivos do TPS é “criar pessoas pensantes” pois estas são o seu principal recurso. Dar formação e incentivar a participação e o compromisso de todos os trabalhadores garante às organizações ganhos financeiros e de eficiência muito significativos

2.1.3. Valor Acrescentado / Valor Não Acrescentado

Valor acrescentado refere-se ao tempo ou tarefas pelas quais, de acordo com o cliente, acrescentam valor ao produto e pelas quais este está disposto a pagar (Rother & Shook, 2003). Na indústria, segundo Hines e Rich (1997), só existe valor nas ações ou processos que contribuem para transformar os componentes produzidos de acordo com as necessidades dos clientes.

Num contexto de produção interna existem três tipos de operações que são efetuadas (Monden, 1993) e que podem ser categorizadas como:

- **Valor Acrescentado (VA)** – são operações que envolvem a transformação ou processamento de matéria-prima ou produtos semi acabados. São atividades como a fundição de matérias-primas, montagem de peças ou pinturas do exterior.

- **Não Valor Acrescentado (NVA)** – são atividades que são puro desperdício e que devem ser eliminadas por completo. Todos os tempos de espera, excesso de manipulação de componentes, movimentações, são exemplo de NVA.
- **Valor Não Acrescentado mas Necessárias (NNVA)** – são atividades que embora, sejam desperdício, são essenciais para o procedimento das operações. Alguns exemplos incluem documentação, retirar peças das embalagens ou transferir ferramentas de mão.

Segundo Pinto (2009), as atividades que não criam valor consomem cerca de 95% do tempo nas organizações. Questões burocráticas, pausas excessivas ou mesmo reuniões improdutivas não trazem benefícios para as empresas e representam um desperdício de tempo e de dinheiro.

2.1.4. *Muda / Mura / Muri*

Muda, é a palavra japonesa para desperdício que está relacionada com toda a atividade que não adiciona valor ao produto. São atividades que consomem tempo e recursos e, portanto, fazem com que o produto seja mais caro (Chen, Ye & Shady, 2010).

Muda é o tipo de desperdício que é mais notado, contudo existem mais dois tipos de desperdícios e que são igualmente importantes: *Mura* e *Muri*. Se nos focarmos apenas no *muda* sem prestarmos atenção aos outros dois M's, podemos prejudicar a produtividade das pessoas e do sistema (Liker, 2004).

- ***Muda*** – O M mais comum inclui os 8 desperdícios. São atividades que aumentam o *lead time*, causam movimentos desnecessários, criam excesso de inventário ou resultam em tempos de espera.
- ***Mura*** – Representa as variações ou desníveis no processo. Sempre que o fluxo normal de trabalho é interrompido, seja na atividade do colaborador, no planejamento de produção ou no fluxo dos componentes, estamos perante *Mura* (Masaaki, 2012).
- ***Muri*** – Representa as sobrecargas no processo (Southworth, 2010). Consiste em sobrecarregar a máquina ou as pessoas para além dos seus limites. Pode gerar problemas de segurança, de qualidade e causar paragens devido à falha das máquinas.



Figura 3 - Os três M's (Adaptado de Liker, 2004)

Lean procura a eliminação completa do desperdício. Para este objetivo, é necessário olhar para os três tipos de desperdício em conjunto, pois embora não seja imediatamente perceptível, estes estão interligados. Muitas empresas conseguem eliminar os desperdícios identificados, mas falham em criar um processo estável, um fluxo verdadeiramente balanceado e constante. Atingir este estado é fundamental para eliminar *mura*, que é fundamental para eliminar *muri* e *muda* (Liker, 2004).

Para uma melhor percepção dos três tipos de desperdício, Southworth (2010) refere que bons líderes devem “experenciarmos” as condições dos seus colaboradores por forma a compreender o que se está a passar e, assim, conseguirem desenvolver e implementar contramedidas efetivas.

2.1.5. Diagrama de *Spaghetti*

Introduzido por Gilbreths, o estudo dos movimentos é realizado para eliminar desperdícios associados à realização de tarefas por parte dos operadores. É um método que pode reduzir significativamente os custos de produção (Freivalds & Niebel, 2009).

Aspetos como a localização e a posição de ferramentas e materiais devem ser tidos em conta na criação de postos de trabalho eficazes e eficientes. São questões que fazem parte dos princípios da economia dos movimentos (Meyers & Stewart, 2002).

Outro aspeto determinante para o estudo dos movimentos é a ergonomia. A altura das mesas e das máquinas nos postos de trabalho, a luminosidade ou o espaço disponível influenciam a performance dos trabalhadores. É neste sentido que devem ser dadas condições de trabalho aos operadores que se adequem às suas características físicas (Meyers & Stewart, 2002).

Um diagrama de *Spaghetti* é uma ferramenta usada para estudar o movimento das pessoas e de materiais dentro de uma fábrica. De acordo com Meyers e Stewart (2002), este diagrama é normalmente desenhado nas plantas das fábricas e ajuda a identificar os seguintes problemas:

- **Tráfego cruzado** – Pontos de interseção de fluxos de material e informação causam congestionamento e atrasos;

- **Retorno** – Material que se move em sentido oposto ao normal (da recepção para a expedição); O material deve fluir num único sentido desde o ponto de entrada até ao ponto de saída;
- **Distância percorrida** – Distância que os materiais e pessoas têm que percorrer na fábrica. Quanto menor for a distância percorrida menor é o custo associado ao movimento efetuado;
- **Procedimento** – Se o *layout* não é adequado para a sequência de operações, pode originar tráfego cruzado de material. Quando a sequência não é possível de ser alterada, a localização dos equipamentos deve ser alterada



Figura 4 - Diagrama de *Spaghetti*

O mapeamento dos movimentos permite identificar como as pessoas e os materiais interagem, para acrescentar valor ao produto (Hayes et al., 2014). O objetivo dos diagramas de fluxo consiste em encontrar soluções que, ao reduzir as distâncias percorridas, permitem conceber um espaço de trabalho o mais eficiente possível (Meyers & Stewart, 2002).

2.1.6. Métricas *lean*

A utilização de indicadores de desempenho é importante nos processos de análise do fluxo de valor e de tomada de decisões na produção *lean*, com o intuito de eliminar os desperdícios encontrados:

O **Lead Time** (L/T) diz respeito ao tempo que uma peça demora a percorrer o fluxo da produção, ou seja, desde a entrada da matéria-prima em fábrica, até à entrega ao cliente (Rother & Shook, 2003).

O **Tempo de Ciclo** (Tc) é definido pelo período de tempo que dita a repetição da mesma tarefa num processo. Da mesma maneira, pode dizer-se que o tempo de ciclo corresponde ao tempo da realização de todas as operações da estação (ou do operador) mais lenta do processo (Rother & Shook, 2003; Pinto, 2009).

O **Takt Time** representa o ritmo ou compasso de produção ou abastecimento necessários para satisfazer a procura. Este tempo depende diretamente da procura. Se a procura aumenta, o tempo *takt* diminui e se a procura diminui, o *takt* aumenta, influenciando diretamente a produção.

Para calcular o tempo *takt* é necessário saber a procura, ou seja, o objetivo, e o tempo disponível para a produção do produto ou serviço.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ operacional\ por\ turno}{N^{\circ}\ de\ peças\ pedidas\ pelo\ cliente\ por\ turno}$$

Um dos objetivos do tempo *takt*, na gestão do fluxo dos materiais, é clarificar as oportunidades ou prioridades para melhorias na fábrica.

A gestão da produção com base neste tempo só é adequada a sistemas com elevado grau de repetição de operações, nos quais se possam configurar fluxos unitários de peças, mantendo alguma estabilidade na produção. Esta estabilidade acentua a necessidade da existência de sistemas de planeamento capazes de antecipar e dissipar as flutuações da procura a curto prazo, através do correto nivelamento entre a procura e a produção.

Tempo de Valor Acrescentado (TVA) é referente à duração das operações que acrescentam valor ao produto na ótica do cliente e pelas quais este está disposto a pagar (Rother & Shook, 2003).

2.1.7. 5S

Os 5S são um conjunto de ações, cujo objetivo é organizar, limpar, *standardizar* e manter a disciplina no espaço de trabalho (Marasinghe, 2012). *Lean*, suportado pelos 5S é uma estratégia eficaz para alcançar uma *performance* sustentável, pois reduz eficientemente desperdício, erros humanos, queixas dos clientes e peças com defeito. Geralmente aumenta a qualidade, produtividade e a *performance* financeira (Steven, 2011).

Patter (2006) enfatiza que os 5S são muito mais do que a simples limpeza. É uma ferramenta para transformar o espaço de trabalho, fornecendo assim oportunidades para melhorias. 5S muda a maneira de ver dos trabalhadores em relação ao seu espaço de trabalho e melhora a comunicação entre departamentos e postos de trabalho. Uma área de trabalho bem organizada, faz com que haja mais segurança e eficiência nas tarefas do dia-a-dia, aumentando a moral e motivação dos trabalhadores.

A técnica dos 5S é um requisito essencial para a implementação da filosofia *lean* em qualquer organização (Lake, 2008) facilitando a implementação de muitas outras ferramentas (Cooper, Keif & Macro, 2007; Mehok, 2012), como gestão visual, troca rápida de ferramentas e *poke yoke*. A falta desta ferramenta faz com que as outras ferramentas possam vir a ser ineficazes (Chapman, 2005). Assim, Rich et al. (2006) descrevem os 5S e a gestão visual como a base para a implementação *lean*.

Na figura 5 são apresentados os 5S e de seguida, uma breve de explicação de cada um.

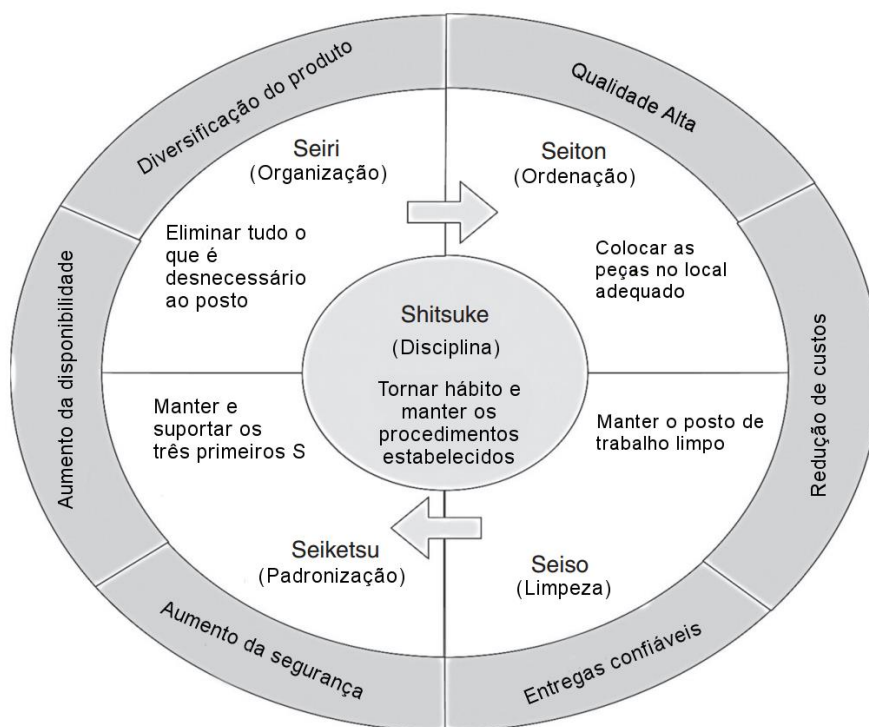


Figura 5 - Os 5S (Adaptado de Osada, 1991)

1. **Seiri (Organização)** – Este elemento trata de manter as coisas necessárias nos locais adequados e de remover as coisas que já não são necessárias no posto (Hough, 2008). Para introduzir este princípio é necessário haver um esforço da organização e autodisciplina por parte de cada colaborador (Ho, 1997). *Seiri* desencoraja a mentalidade de ter grandes quantidades de peças ou produtos no local do trabalho, independentemente da sua utilização imediata. Serve também de ajuda para estimar a quantidade de material que é necessária no ambiente de trabalho.

Também possibilita a eliminação de coisas que são irrelevantes naquele local, eliminando assim possíveis obstáculos no fluxo de trabalho (Chapman, 2005). Os benefícios desta primeira ação incluem: ganho de espaço, diminuição do tempo de procura de peças ou ferramentas e um espaço de trabalho mais seguro e limpo (Sorooshian et al., 2012).

2. **Seiton (Ordenação/Configuração):** A ordenação do material reflete a eficiência do espaço de trabalho e, geralmente, é analisada pelo tempo necessário para tirar e colocar as coisas de volta durante o tempo de trabalho (Lanigan, 2004). O objetivo do segundo elemento dos 5S é desenvolver uma forma de usar o espaço mais eficientemente através de uma ordenação, configuração correta do material. *Seiton* requer que haja uma priorização da necessidade e da importância dos bens/equipamento para ser mais fácil determinar os sítios adequados de acordo com os critérios mencionados.

As perguntas chave: quem, o quê, porquê, onde, quando e como (Imai, 1986) devem ser feitas em relação a cada item (Ho, 1997). Esta atividade assegura que há localizações específicas para todos os itens, fazendo com que os trabalhadores tenham um maior controlo sobre o que há à sua volta. A localização de cada peça, produto ou ferramenta tem que ser bem clara para que qualquer trabalhador da empresa consiga encontrar o que necessita, a qualquer hora (Chapman, 2005). Os benefícios do *Seiton* são: o rápido processamento, redução de erros, disciplina e ideias criativas geradas ao longo do processo, acompanhado por uma moral mais elevada (Sorooshian et al., 2012).

3. **Seiso (Limpeza):** O terceiro S, *Seiso*, significa limpeza, enfatizando a auto inspeção, limpeza e a criação de um espaço de trabalho sem defeitos (Kobayashi, Fisher & Gapp, 2008). Este passo inclui três atividades principais: (1) limpar o posto de trabalho, (2) manter a sua aparência e (3) praticar ações preventivas para mantê-lo limpo (Gürel, 2013). Um plano de manutenção efetivo deve ser desenvolvido para limpar a sujidade dos equipamentos e áreas de armazenamento. Os benefícios da limpeza incluem: redução da falha dos equipamentos, melhoria na qualidade do produto, melhoria na segurança e um ambiente de trabalho mais animador (Sorooshian et al., 2012).

4. **Seiketsu (padronização):** O quarto S, *Seiketsu*, significa padronização, isto é, manter o espaço de trabalho de forma a que seja produtivo e confortável, repetindo *Seiri-Seiton-Seiso* (organização, ordenação, limpeza) (Osada, 1991). Durante esta fase, a equipa desenvolve uma forma de trabalhar *standard* para cimentar as novas práticas (Osada, 1991; Chapman, 2005).

É preciso haver uniformidade nesta fase, para assim assegurar que os *standards* sejam cumpridos e o posto esteja conforme após as melhorias. Os *standards* podem ser alcançados através de inovação e gestão visual (Hubbard, 1999). A gestão visual tem sido concebida como um mecanismo eficaz para a melhoria contínua, porque pode desempenhar um papel importante na produção, qualidade, segurança e serviço ao cliente (Ho, 1997). Os benefícios da padronização incluem: baixos custos gerais, lealdade para com a organização e aumento da eficiência do processo (Sorooshian et al., 2012).

5. **Shitsuke (disciplina):** O quinto S, *Shitsuke*, significa disciplina, tendo como objetivo manter todos os S anteriores. Este último passo é crítico, pois necessita de mudanças proativas no comportamento em todos os níveis da organização (Kobayashi, Fisher & Gapp, 2008). Ajuda e encoraja os trabalhadores a criar bons hábitos e a formar uma rotina diária constante. Este elemento é um processo de

repetição e atua como uma parte integral da segurança (Ho, 2010). Neste passo há sempre a necessidade de manter a auto disciplina todos os dias, criando hábitos ou uma cultura organizacional de forma a obter benefícios como aumento da produtividade e produtos de qualidade sem ocorrência de acidentes (Patten, 2006; Sorooshian et al., 2012).

2.1.8. Standard Work

Berger (1997) sugere que o trabalho *standard* é a ferramenta básica para a melhoria contínua. O trabalho padronizado pode ser definido como o melhor método atualmente conhecido para realizar um determinado trabalho. O que pressupõe que é o método mais seguro e eficiente para executar o trabalho e que satisfaz o nível de qualidade exigido (Bell & Orzen, 2011).

A padronização do trabalho pode ser descrita como um conjunto de ferramentas de análise que resultam num conjunto de *Standard Operational Procedures* (SOPs). Estes SOPs contêm os passos do processo, sequências de trabalho, tempo de ciclo, métodos de controlo e representam a melhor maneira de como executar uma determinada operação dentro do tempo objetivo.

Imai (1986) explica que é impossível melhorar um processo até que este esteja padronizado. Se o processo está sempre a sofrer variações, então qualquer melhoria feita, irá ser mais uma variação, acabando por não se obter os resultados esperados. Inicialmente é extremamente importante padronizar e estabilizar o processo, antes de se proceder a quaisquer alterações direcionadas à melhoria.

Monden introduziu o *Standard Working Chart* (SWC), *Standard Work Combination Table* (SWCT) e *Standard Operation Sheet* (SOS), sendo estes úteis para analisar e melhorar o método de trabalho. O SWC demonstra o movimento do operador e a localização das peças/material em relação às máquinas e o *layout* do posto. O SWCT visualiza a combinação dos tempos: (1) do trabalho manual feito pelo operador, (2) das deslocações e (3) de processamento da máquina para cada operação numa sequência de produção. Esta ferramenta tem como objetivo identificar desperdício como *work-in-progress*, esperas e sobrecarregamento do trabalho. Por fim, as instruções de trabalho são descritas no SOS (Becker & Scholl, 2006).

2.2. Análise dos Métodos de Trabalho

Esta técnica é utilizada para analisar a maneira como o trabalho é feito. É conhecida por ter um impacto positivo na produtividade das empresas. A sua utilização deriva de vários fatores, como a mudança de ferramentas e equipamentos, as alterações no *design* do produto ou a introdução de novos produtos, as alterações nos materiais ou processos, entre outros (Stevenson, 2005).

A escolha das operações a estudar tende a concentrar-se sobre trabalhos que impliquem grandes necessidades de mão-de-obra, que sejam feitos frequentemente, que sejam cansativos ou inseguros, ou que apresentem problemas de qualidade ou gargalos no seu processo (Stevenson, 2005). O objetivo é incidir a análise nas tarefas com maior impacto em termos de eficiência produtiva.

A análise dos métodos de trabalho está em parte ligada à metodologia de Qualidade 5W2H's. Esta defende o uso de perguntas chave para se obter informações sobre o trabalho: "O quê?", "Porquê?", "Onde?", "Quando?", "Por quem?", "Como" e "Por quanto?". Esta metodologia sugere o uso de tabelas como as de fluxo do processo ou de trabalhador-máquina e aplica-se tanto a novos processos como aos que já se encontram no ativo. No primeiro caso procura-se obter o máximo de informação relevante, desde ferramentas a materiais usados, e agregá-la em tabelas desenvolvidas com esse intuito. Em seguida, através da capacidade de visualização do processo geral, procede-se ao estabelecimento de um método de trabalho mais adequado.

Para processos em andamento a abordagem é ligeiramente diferente. Implica uma observação detalhada do trabalho desenvolvido para análise e apresentação de propostas de melhorias (Stevenson, 2005). Algumas das perguntas representativas usadas por analistas são do género:

- Como se podem diminuir ou evitar as distâncias percorridas?
- É possível reduzir o manuseamento dos materiais?
- O uso de novos equipamentos pode ajudar o processo?
- Terá o reajustamento do posto de trabalho um impacto positivo na eficiência?

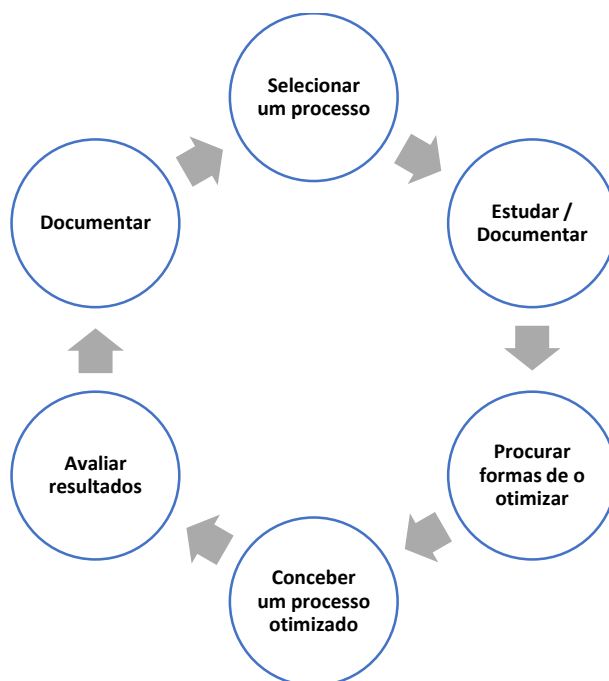


Figura 6 - Melhoria de um processo (Adaptado de Stevenson, 2005)

Para que a fase de implementação das melhorias propostas seja bem-sucedida é necessário que haja, por parte da gestão, um grande poder de persuasão acerca do novo método. No entanto, a implementação pode ser comprometida caso não haja a imprescindível colaboração por parte dos trabalhadores. Esta situação pode ser evitada, bastando, para tal, que os operadores sejam envolvidos desde cedo no processo de tomada de decisão (Stevenson, 2005).

De modo a assegurar que se alcançaram os resultados pretendidos é aconselhável que o processo seja acompanhado durante algum tempo e os operadores sejam ouvidos frequentemente (Stevenson, 2005).

2.3. Simulação Aplicada

É importante entender o que é a simulação. Para isso, são apresentados alguns conceitos de diferentes autores para um melhor esclarecimento. Simulação é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experiências com esse mesmo modelo tendo como propósito a compreensão do comportamento do sistema ou a avaliação de diversas estratégias (dentro dos limites impostos por um critério ou conjunto de critérios) para a operação do sistema (Shannon, 1975).

Pedgen et. al. (1995) descrevem a simulação como um processo de concepção de um modelo que espelha um determinado sistema real em que se realizam experiências com o propósito de, posteriormente, perceber o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para a melhoria do sistema. No mesmo âmbito, Hillier e Lieberman (2001) definem a simulação como a técnica de fazer experiências no modelo de um sistema. As experiências são feitas no modelo em vez de no próprio sistema real, visto ser mais conveniente e menos dispendioso.

No âmbito da simulação é fundamental compreender o que são sistemas e modelos. Pode-se definir um sistema como um conjunto de elementos distintos, entidades (pessoas ou máquinas), que exercem entre si uma interação de acordo com um determinado fim (Schmidt & Taylor, 1970). Segundo Hillier e Lieberman (2001) um modelo é uma representação de um sistema real no qual só os aspetos mais relevantes para uma determinada análise são tidos em conta.

Segundo Negahban e Smith (2014) a simulação de eventos é uma das técnicas mais utilizadas para analisar e perceber as dinâmicas dos sistemas de produção. É uma ferramenta flexível que permite avaliar as diferentes alternativas da configuração de sistemas complexos e estratégias a nível operacional para suportar a tomada de decisão. Em particular, a simulação tem desempenhado um papel fulcral na avaliação da *performance* de um sistema. Existem muitos casos de sucesso na resolução de problemas utilizando a simulação, com destaque para os sistemas industriais. Outros exemplos incluem: hospitais (Mielczarek & Uziak ko-Mydlikowska, 2012), marketing (Negahban & Yilmaz, 2014), cadeia de abastecimento (Terzi & Cavalieri, 2004) e forças militares (Naseer, Eldabi & Jahangirian, 2009).

2.3.1. Aplicações da Simulação

Material handling systems (MHS) têm um grande impacto na performance dos sistemas industriais. Devido ao aumento da complexidade dos MHS, a simulação é uma alternativa melhor aos modelos matemáticos para explorar opções e resolver problemas. Hao e Shen (2008) propõem uma abordagem para modelar MHS complexos, facilitando a implementação de ambientes adaptáveis e a análise de diferentes configurações e situações em tempo real.

Jägstam e Klingstam (2002) usam simulação como ajuda para o planeamento de implantações conceptuais e para o estudo de sistemas de produção através de uma fábrica virtual. Propõem um manual de simulação para integrar esta ferramenta nos processos de

engenharia. Também identificam os problemas associados à integração da simulação no planeamento dos sistemas industriais.

Pichitlamken e Nelson (2003) propõem um algoritmo de simulação, em que este é usado para medir a *performance* do sistema. Utilizam este método para maximizar as taxas de serviço e o *output* médio através da identificação do melhor sítio para colocar *buffers*.

Através de um caso de estudo, Mahfouz, Shea e Arisha (2011) integram a simulação com técnicas de otimização para avaliar a implementação de princípios *lean* em pequenas e médias empresas, analisando tempo de ciclo, *work in progress* e utilização dos operadores.

Ainda no contexto de otimização, Bettonvil, del Castillo e Kleijnen (2009) apresentam uma abordagem com múltiplos *outputs* e estudam a robustez através de vários exemplos, incluindo a integração de um modelo de simulação baseado no inventário.

Segundo Harrel, Ghosh e Bowden (1996), a simulação computacional torna-se bastante adequada quando:

- É difícil, ou talvez impossível o desenvolvimento de um modelo matemático;
- O sistema possui variáveis aleatórias;
- Há complexidade na dinâmica do processo;
- Se deseja observar o comportamento do sistema em um determinado período;
- O uso da animação é importante para visualizar o processo.

2.3.2. Vantagens e Desvantagens da Simulação

Como qualquer ferramenta, existem vantagens e desvantagens relacionadas com o seu uso, em que o balanço entre elas numa determinada situação faz da ferramenta em causa, apropriada ou não. Assim sendo, segundo Pegden, Sahnnon e Sadowsky (1995) as vantagens da utilização desta ferramenta são:

- Não tem restrições quanto ao tamanho ou complexidade dos sistemas. Pode ser usado em pequenos sistemas ou em análise de problemas de grande escala;
- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxo de informação, procedimentos organizacionais e muitas outras podem ser exploradas sem ter que interromper o sistema real (evitando custos);
- Novos *layouts*, sistemas de transporte e muitos outros podem ser testados sem comprometer os recursos para a sua aquisição;
- Hipóteses sobre como ou porque ocorrem certos fenómenos, podem ser testados quanto à sua viabilidade;
- O tempo pode ser ajustado (comprimido ou expandido) para permitir um aumento ou diminuição da velocidade do fenómeno que está a ser investigado;
- Pode-se realizar uma análise ao gargalo do processo, e descobrir qual o recurso que causa esse atraso das entidades;
- Um estudo de simulação ajuda a compreender como um sistema funciona;
- Permite a elaboração de múltiplos cenários para a mesma solução.

Apesar das vantagens, segundo o mesmo autor, são enumeradas algumas desvantagens:

- A construção de um modelo requer um conhecimento e treino especial. Só através de bastante treino e experiência acumulada ao longo do tempo é que se consegue modelar um sistema. Para além disso, se duas pessoas completamente diferentes construírem um modelo, este pode ter semelhanças, mas é muito improvável que sejam iguais;
- Os resultados (saídas) da simulação são complexos de interpretar. Como em grande parte dos modelos, os resultados são essencialmente variáveis aleatórias, devido aos dados de entrada introduzido no modelo serem aleatórios, acabando por ser complicado distinguir uma observação, que é o resultado da inter-relação do sistema ou da aleatoriedade;
- A simulação e a sua análise pode ser bastante demorada e dispendiosa. Poupar nos recursos pode resultar num modelo que não serve os propósitos, podendo ser insuficiente para retirar conclusões, o mais acertadas e corretas possíveis;
- A simulação é usada em alguns casos onde se consegue obter uma solução analítica para o problema. Isto é particularmente verdadeiro na simulação de algumas filas de espera onde não é necessária a simulação para chegar às conclusões que são pretendidas;
- Quando os dados para a construção do modelo são de difícil obtenção, o custo do mesmo pode atingir níveis elevados, devido ao tempo de desenvolvimento.

Segundo Negahban e Smith (2014), o número de publicações relacionadas com simulação tem vindo a aumentar, indicando uma tendência crescente na utilização da simulação em diferentes problemas. Um aumento no poder computacional, incorporação de algoritmos de otimização em pacotes de *software* de simulação e outras técnicas de melhoria de eficiência são alguns dos fatores para este crescimento. Além disso, avanço nas técnicas de verificação e validação e um aumento na adoção da simulação em várias empresas, aumentou a credibilidade desta ferramenta entre investigadores. Espera-se que esta ferramenta continue a evoluir no futuro, devido à economia global e ao aumento da competitividade, pois os sistemas irão cada vez ficar mais complexos, havendo a necessidade de ferramentas que consigam acompanhar esta evolução eficientemente.

2.4. AGV – *Automated Guided Vehicle*

Um AGV é um veículo que é capaz de transportar qualquer tipo de produto sem a necessidade de haver uma pessoa a conduzi-lo. São desenhados para efetuarem transportes automáticos seguindo percursos no chão.

Um sistema AGV representa o meio mais versátil de mover materiais automaticamente (Ilić, 1994). É adequado para situações onde diferentes produtos, peças, materiais, têm que ser transportados de um ponto para outro (Kesen & Baykoç, 2007). Cada sistema tem que ser especificado e configurado para cada aplicação em particular, dependendo das partes, materiais ou produtos a serem transportadas, da quantidade a ser transportada, das distâncias a percorrer, do tipo de sistema de produção, entre outros fatores, incluindo o orçamento (Ilić, 1994).



Figura 7 - Diferentes tipos de AGV (a) (b) (c)

Embora existam vários tipos de AGV especializados, podem definir-se três tipos principais (Figura 7): (a) rebocadores ou tratores para puxar cargas passivas, (b) os de cargas unitárias em que o AGV transporta uma única plataforma, (c) e os AGV empilhadores que realizam, a carga, o transporte e a descarga (Alonzo et al., 2007).

2.4.1 Benefícios dos AGVs

Como os AGVs têm capacidades de carregamento, transporte e descarregamento automático, estes estão a ser aplicados em vários sectores, como fábricas de produção, armazéns, sistemas de manuseamento de material e indústrias de serviços (Fazlollahtabar, Saidi-Mehrabad & Balakrishnan, 2015). Estão a ser integrados nestes sistemas porque fornecem inúmeras vantagens em áreas económicas, ambientais e de sustentabilidade social (Craig & Dale, 2008; Kannegiesser, Günter & Autenrieb, 2015; Wu et al., 2016):

- Aumento da produtividade (Negahban & Smith, 2014)
- Redução dos custos relacionados com mão-de-obra (Gosavi & Grasman, 2009)
- Redução de emissões (Geerlings & Van Duin, 2011) e energia consumida (Acciaro & Wilmsmeier, 2015)
- Aumento da segurança (Duffy, Wu & Ng, 2003)
- Controlo em tempo real das partes em movimento, resultando na redução de *stock* e uma melhor resposta à procura
- Redução do tempo de transporte e maior flexibilidade no que diz respeito ao fluxo de materiais (Jun et al., 2000)

2.4.2. Elaboração Sistema AGV

Para o desenvolvimento de um sistema AGV de forma correta e eficaz, há vários aspetos que têm que ser estudados, como por exemplo (Vis, 2006):

1. Trajeto

A definição do trajeto de um AGV pode ser feita de várias maneiras. Uma delas é definir em simultâneo o *layout* do edifício, as localizações do *picking* e entrega e o trajeto.

Outra maneira é determinar o trajeto e as localizações de *picking* e entrega com base no *layout* da fábrica. Por fim, o trajeto de um AGV pode ser definido tendo em conta o *layout* da fábrica e as localizações do *picking* e entrega.

Os trajetos podem ser unidirecionais ou bidirecionais. Se só for permitido aos veículos moverem-se numa única direção, estamos perante um fluxo unidirecional. Por outro lado, se os veículos andarem em ambas as direções, estamos perante um fluxo bidirecional, embora não seja permitido aos veículos deslocarem-se em direções opostas ao mesmo tempo.

Também existe um outro tipo de configuração no que diz respeito aos trajetos, que pode ser visto na figura 8. Este tipo de configuração baseia-se na partilha da totalidade dos centros de trabalho em visitas únicas, não sobrepostas, de um veículo num circuito fechado. Destaca-se pela menor complexidade do circuito e pela eliminação de possíveis congestionamentos de AGVs.

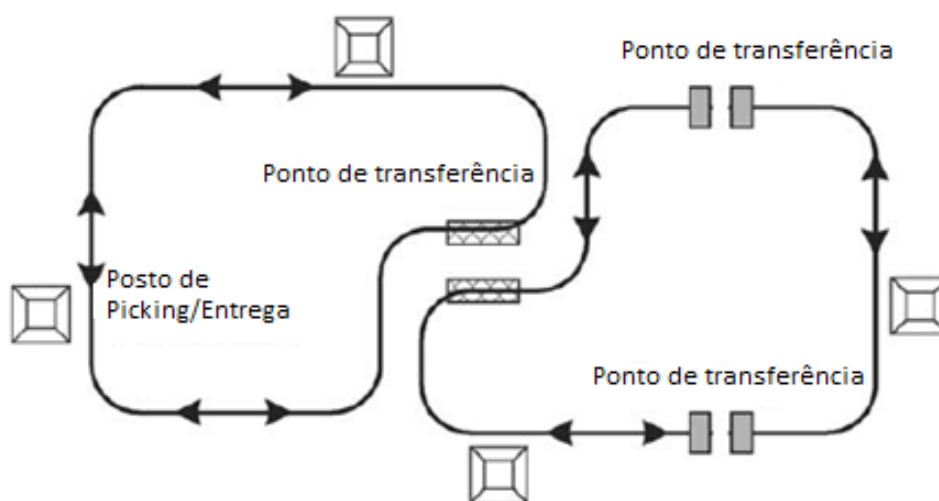


Figura 8 - Configuração em circuito de um AGV (Le-Anh, & De Koster, 2006)

O essencial nesta fase é determinar as direções dos deslocamentos para minimizar o tempo de transporte e garantir que o AGV chega a todos os pontos de *picking* e entrega a tempo.

Gaskins e Tanchoco (1987) para trajetos unidirecionais, formulam um modelo de programação baseado em linguagem binária, 0-1. Este modelo tem como objetivo descobrir os trajetos que minimizam o tempo de transporte do veículo.

Gaskins, Tanchoco e Taghaboni (1989) em trajetos bidirecionais, propõem um modelo em que a distância percorrida e o número de faixas unidirecionais são minimizadas. Este modelo também consegue determinar o número necessário de faixas necessárias e a direção das mesmas.

2. Gestão do tráfego: previsão e evitação de colisões e bloqueios.

No desenvolvimento e controlo de sistemas AGV, colisões e bloqueios devem ser analisados. Ao colocar sensores nos AGVs, colisões são evitadas. Um AGV deve ter a capacidade de evitar obstáculos e de retornar ao seu caminho original sem colisões.

O *layout* dos caminhos a percorrer pelos AGVs, também pode ser desenhado de forma a que colisões e bloqueios sejam evitados. Estratégias de *routing* também podem ser desenvolvidas para evitar estes acontecimentos.

Outra técnica é dividir a área industrial em zonas de controlo que não intersetem umas com as outras. Neste cenário, só um veículo é que tem permissão e pode atravessar a zona de controlo (Mantel & Landeweerd, 1995). Consequentemente, outros veículos que queiram atravessar a zona permanecem parados e ficam em espera até que a zona fique liberta. Em prática, a divisão do espaço fabril em zonas de controlo é a técnica mais usada na gestão de tráfego.

Moorthy et al. (2003) estudam a previsão e antecipação de bloqueios para um sistema de AGVs em zonas de controlo num terminal de contentores.

Fanti (2002) também propõe uma estratégia de controlo em tempo real para prevenir bloqueios em zonas de controlo. As decisões são feitas através de algoritmos, baseando-se nas situações reais que vão acontecendo.

3. Localização dos pontos de *picking* e entrega

As localizações do *picking* e da entrega também devem ser determinadas. Estes dois postos conectam por exemplo, máquinas, estações de carregamento e descarregamento, estações de inspeção e armazém, pelo que a escolha da localização é importante. Influencia, por exemplo, a distância percorrida e tempos de espera. Para evitar gargalos nos pontos de *picking* e entrega, devido a um número elevado de AGVs no sistema e para reduzir os tempos de espera, a decisão destas localizações é ainda mais importante para sistemas complexos.

De acordo com Goetz Jr e Egbelu (1990) e Asef-Vaziri, Dessouky e Sriskandarajah (2001), a escolha destas localizações pode ser decidida durante o processo de idealização do sistema. Kiran e Tansel (1989) dizem que apenas um número pequeno de pontos de *picking* e entrega devem ser alocados a uma localização nesta fase de desenvolvimento, para se obter uma melhor *performance*.

4. Características do veículo

O número mínimo de veículos necessários deve ser calculado quando o sistema de AGVs é elaborado. O número de veículos influencia fortemente a *performance* do sistema. De forma a assegurar que todas as tarefas sejam completas dentro do tempo, um número suficiente de veículos deve estar disponível, embora que, por razões económicas, este valor não deve ser exagerado. Além disso, a existência de muitos veículos no sistema conduz a uma maior probabilidade de congestionamento.

Para determinar a quantidade ótima de AGV, vários fatores devem ser tidos em conta:

- Número de unidades a serem transportadas;
- Frequência de transporte;
- Capacidade do veículo;
- Velocidade do veículo;
- Custo do sistema;
- *Layout* do sistema e trajeto;

- Tráfego;
- Estratégias de requisição do veículo;
- Número e localização das estações de *picking* e entrega;

Uma maneira de determinar o número mínimo de veículos necessários pode começar pela identificação de uma viagem completa, incluindo todas as tarefas. Tudo começa com a atribuição de um AGV a um produto a ser transportado. O veículo então, vai até ao posto do *picking*, recebe a carga correspondente e transporta-a para o ponto de entrega. Neste ponto, o veículo descarrega o material. Este ponto é, então, a origem da próxima viagem do veículo. Assim, a viagem consiste no tempo de viagem vazio (viagem até ao posto de *picking*), tempo de viagem cheio (*picking* até ponto de entrega) e tempo de espera.

Os AGVs são capazes de transportar mais que uma carga ao mesmo tempo. Uma carga refere-se ao número de itens organizados de maneira a que sejam transportados como um único objeto. Exemplos de uma carga são contentores ou paletes. O tamanho de cada carga tem que ser definido pela equipa que está a desenhar o sistema. Egbelu (1993) apresentou um modelo matemático para seleccionar o tamanho ótimo das cargas para todas as indústrias que utilizam sistemas AGV. Para além do tamanho da carga, também é necessário definir se os AGVs vão transportar uma ou diversas cargas. Ozden (1988) através de um estudo de simulação, concluiu que ao transportar duas cargas, em vez de uma, é possível reduzir a frota de veículos.

O uso de veículos com capacidade para diversas cargas, reduz o número de veículos necessários, a distância percorrida, tempo de viagem vazio, e aumenta o número de unidades processadas.

5. Atribuição de veículos

Esta atribuição refere-se à regra usada para seleccionar um veículo para executar um determinado transporte. Este problema existe sempre que pessoas ou bens necessitam de ser transportados de um destino para o outro. Pode ser visto de duas perspetivas diferentes: (1) uma carga está disponível para transporte e precisa de ser atribuída a um AGV inativo e, (2) um veículo está inativo e precisa de ser atribuído a uma tarefa.

De acordo com Egbelu e Tanchoco (1984) as seguintes heurísticas podem ser aplicadas quando se fala na perspectiva número (1):

- **Veículo aleatório:** a tarefa é atribuída aleatoriamente a qualquer veículo, independentemente da localização do veículo e da carga;
- **Veículo mais próximo:** o veículo que estiver mais próximo da carga, é atribuído a esta mesma;
- **Veículo mais longe:** o veículo que estiver a uma distância maior, é atribuído ao pedido de transporte;
- **Veículo mais tempo inativo:** é atribuído uma carga ao veículo que permanece inativo há mais tempo entre todos os veículos;
- **Veículo menos utilizado:** o veículo com menos utilização média é atribuído a uma nova tarefa.

Estas duas últimas regras contribuem para o balanceamento da carga entre todos os AGVs no sistema.

Segundo o mesmo autor, as seguintes heurísticas podem ser aplicadas quando estamos a referir-nos à perspetiva número (2):

- **Posto de trabalho aleatório:** um posto de trabalho com um pedido de transporte é aleatoriamente escolhido e o veículo é enviado para este posto;
- **Menor distância/tempo de viagem:** o veículo é enviado para o posto de trabalho mais próximo. O objetivo desta heurística é minimizar o tempo de viagem vazia dos veículos e as distâncias percorridas;
- **Fila de espera maior:** o veículo é enviado para o posto de trabalho com o maior número de cargas à espera de serem transportadas;
- **First-Come-First-Served:** os veículos são atribuídos aos postos de trabalho por ordem cronológica de pedido para transporte. Um posto de trabalho só pode ter um pedido de cada vez.

6. Planeamento e rota do veículo

Após a atribuição de veículos ter sido feita, uma rota e um plano devem ser definidos para o AGV transportar os bens desde a origem até ao seu destino. A rota indica o caminho a ser realizado pelo AGV. O plano relativo fornece tempos de chegada e partida em cada segmento para assegurar que o AGV não encontra mais nenhum veículo na sua rota.

A seleção de uma certa rota (*routing*) e calendarização de tarefas influenciam a *performance* do sistema. Quanto maior for o tempo de transporte, menos cargas são possíveis de ser manuseadas. Por isso um dos objetivos do *routing* de AGVs é minimizar o tempo de transporte das cargas.

Para problemas de *routing* mais complexos, algoritmos têm que ser desenvolvidos. Destacam-se dois tipos: estáticos e dinâmicos. Com algoritmos estáticos, a rota do nó i para o nó j é determinada antecipadamente e é sempre usada se uma carga tiver que ser transportada de i para j . Desta forma, só é necessário escolher a rota com a menor distância entre i e j . No entanto, estes algoritmos não são capazes de se adaptar a mudanças no sistema e às condições do tráfego. No *routing* dinâmico, a rota é escolhida com base em informação em tempo real, e como resultado, várias rotas entre i e j podem ser escolhidas.

Kim e Tanchoco (1991) também estudam o problema de encontrar as melhores rotas. O algoritmo que propõem é baseado no método do caminho mais curto de Dijkstra. Singh e Tiwari (2002) apresentam uma *framework* para encontrar o caminho livre que consome menos tempo a atravessar numa rede de trajetos bidirecionais ou unidirecionais.

7. Posicionamento dos veículos inativos

Um AGV fica inativo se entregou algo no seu destino e não é imediatamente atribuído a uma nova tarefa. Uma das decisões a ser tomada é onde colocar os AGVs inativos, para que quando seja atribuída uma nova tarefa, a resposta seja o mais eficiente possível. As localizações para onde os AGVs vão quando estão inativos, chamam-se localizações de estacionamento. Para reduzir tempos de espera de cargas para

transportar, os AGVs precisam de responder de forma rápida à sua nova tarefa. Alguns critérios devem ser definidos na seleção destas localizações (Egbelu, 1993):

- Minimização do tempo de resposta do veículo a viajar vazio da localização de estacionamento até ao posto de *picking*;
- Minimização do tempo médio de resposta;
- Distribuição equilibrada de veículos inativos ao longo da rede.

De acordo com Egbelu (1993) as seguintes regras podem ser aplicadas para o posicionamento de veículos inativos:

- Zona central
- Circuito
- Ponto de libertação

Com a regra de zona central, locais de estacionamento centrais são criados para os veículos inativos. Veículos que não transportam carga, são encaminhados para estas zonas independentemente do seu destino. Com a regra do circuito, um ou mais circuitos são usados para o posicionamento dos veículos inativos. Os AGVs viajam nestes circuitos até que uma nova tarefa seja atribuída a estes. Na regra de ponto de libertação, os AGVs permanecem no posto onde deixaram a carga até que uma nova tarefa seja atribuída. Contudo, ao aplicar esta regra, um AGV pode bloquear outro no mesmo trajeto.

8. Gestão da bateria

Estes veículos usam baterias, que precisam de ser recarregadas ou mudadas. O tempo necessário para efetuar estas operações pode prejudicar a *performance* do sistema e pode alterar o número de veículos necessários. Portanto, este tempo pode ter um impacto no congestionamento, custos e taxa de processamento de bens. Na maioria dos casos, os AGVs percorrem distâncias curtas e durante o tempo em que estão parados, as baterias podem ser recarregadas ou alteradas. No entanto, em sistemas em que as rotas não são previsíveis ou em sistemas em que os AGVs percorrem grandes distâncias, os tempos de inatividade são menores, dificultando esta tarefa.

McHaney (1995) indica que pode não ser necessário incorporar este problema em sistemas em que os AGVs tenham turnos em que sejam desligados, em que há uma baixa utilização (menos de 50%) e em sistemas que o carregamento seja feito *online*. Contudo, de acordo com os resultados de McHaney (1995), a *performance* dos sistemas AGV com elevada utilização e com pouco tempo de inatividade, é influenciada pela gestão de baterias.

9. Gestão de falhas

Se poucos AGVs forem utilizados, possíveis falhas irão ter pouco efeito na ocorrência de congestionamentos no sistema e, consequentemente, na *performance* do sistema. Em contraste, sistemas mais complexos, como sistemas de transporte exteriores ou terminais de contentores, um grande número de AGVs é utilizado e, por isso, aumenta a probabilidade de falhas, causando congestionamento e bloqueios no sistema.

3. Caracterização da empresa

3.1 Grupo Renault

Fundada em 1898, a Renault é uma empresa multinacional, reconhecida mundialmente pelo fabrico e comercialização de veículos particulares e utilitários em 125 países, contando com mais de 120 000 colaboradores. A Renault possui 36 fábricas de produção localizadas em 17 países, sendo que em 2015 conseguiu vender cerca de 2.8 milhões de veículos, sendo a marca francesa com mais carros vendidos globalmente. Todos os locais de produção da empresa Renault regem-se pelo mesmo sistema de produção, de modo a que os processos de fabrico entre as diferentes fábricas sejam *standard* e as exigências a nível de qualidade, desempenho e de desenvolvimento sustentável sejam as mesmas. Com a necessidade de conquistar novos mercados e afirmar a sua posição internacionalmente, a aquisição do construtor romeno Dacia (1999) tornou-se inevitável, bem como a criação da sociedade sul-coreana Renault Samsung Motors (2000).

Em 1999, a empresa formou uma aliança com a construtora de automóveis Nissan, com o objetivo de melhorar o desempenho de cada uma sem nunca alterar a identidade e a autonomia das duas marcas. Desta fusão surgiu o APW (*Alliance Production Way*), combinando o sistema de produção da Renault e da Nissan. A existência de plataformas e componentes comuns na produção dos veículos contribuíram para a redução dos custos de desenvolvimento e montagem dos veículos, ajudando a Renault e a Nissan a crescer e a ultrapassar os concorrentes mais diretos numa das indústrias mais competitivas do mundo. Através das sinergias entre estas duas empresas, a Aliança Renault-Nissan conseguiu tornar-se no quarto maior grupo da indústria automóvel, vendendo mais de 8.5 milhões de veículos em 2015 (Renault Nissan, 2016).

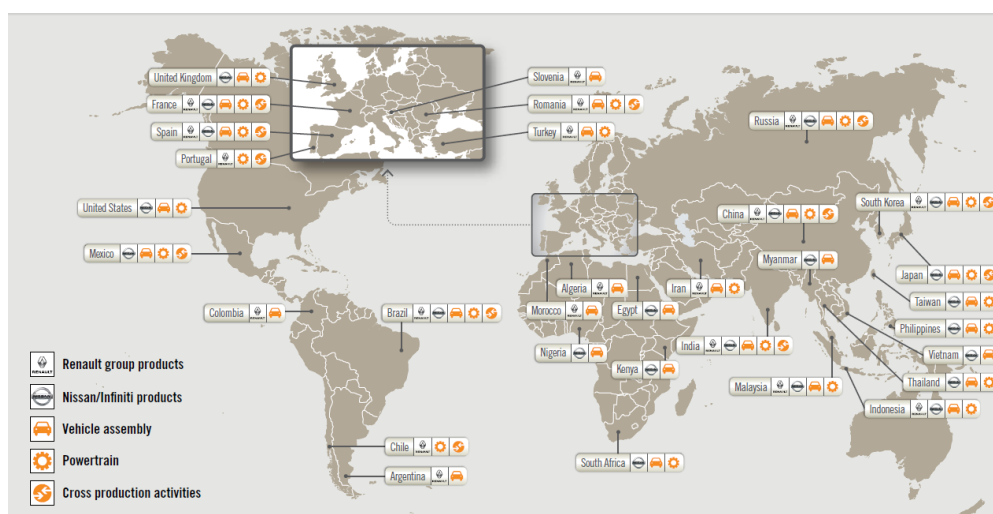


Figura 9 - Fábricas da Aliança Renault-Nissan

Mais recentemente, a Mitsubishi foi integrada também neste projeto juntando-se às outras 8 marcas que já faziam parte. Com a integração da Mitsubishi espera-se que a Aliança se torne no terceiro maior grupo automóvel e consiga satisfazer a procura em todos os segmentos de mercado a nível mundial, sendo que já é responsável por 50% de veículos elétricos vendidos mundialmente (Renault-Nissan, 2016).



Figura 10 - Marcas da Aliança Renault-Nissan (2016)

3.2 Renault CACIA

A Renault CACIA, fundada em Setembro de 1981, está localizada num dos mais importantes centros industriais de Portugal – Aveiro – onde a convergência de acessos é favorecida pela geografia, o que vem dinamizar a indústria e consequentemente, contribuir para os índices de desenvolvimento económico. Situada num complexo industrial de 340.000 m² de área total, dos quais 70.000 m² de área coberta e empregando 1100 colaboradores, a Renault CACIA é a segunda maior unidade industrial de construtores automóveis em Portugal (em número de colaboradores) e a segunda maior unidade do distrito de Aveiro.



Figura 11 - Fábrica da Renault Cacia

3.2.1 Produtos

É uma das fábricas do grupo Renault que produz caixas de velocidades para veículos particulares e utilitários para diferentes modelos da gama Renault, Dacia, Nissan, Daimler e AvtoVaz, assim como componentes para motores, nomeadamente bombas de óleo e árvores de equilibragem (Renault, CACIA 2014). Estes 3 produtos são estratégicos para empresa por várias razões: as caixas de velocidades representam a maior parte do

volume de negócio, enquanto que as árvores de equilibragem são do fabrico exclusivo desta unidade fabril e as bombas de óleo representam 80% da produção do Grupo Renault (Renault CACIA, 2012).



Figura 12 - Destinos exportação

Atualmente, a totalidade dos produtos da fábrica é exportado para 14 países distribuídos por 4 continentes: Espanha, França, Inglaterra, Irão, Roménia, Turquia, Marrocos, Rússia, Chile, Brasil, Índia, Indonésia, Tailândia e África do Sul. Todos os automóveis do Grupo Renault usam (pelo menos) um componente produzido em Cacia.

3.2.2 Estrutura Organizacional da Empresa

A Renault Cacia está dividida em nove departamentos, sendo que cada um tem uma pessoa responsável pelo funcionamento do mesmo. O departamento de fabricação está dividido em duas áreas, CV (caixas de velocidades) e CM (Componentes Mecânicos), que por sua vez, são compostos por diversos *Ateliers* (AT) em que cada um é responsável pela produção de vários componentes.

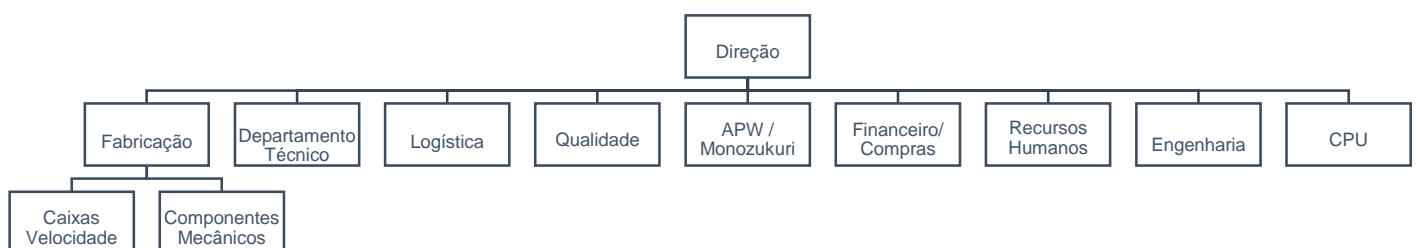


Figura 13 - Estrutura da Renault Cacia

Os *Ateliers* existentes na Renault Cacia são os seguintes:

- **AT1** – onde se produzem Pinhões, Árvores (primária e secundária), se faz a retificação, granalhagem, tratamentos térmicos e se maquinam as coroas para as caixas diferenciais;
- **AT2** – onde há a produção dos eixos de sincronização e forquilha e a maquinação dos cárteres de mecanismo e embraiagem;
- **AT3** – produção de bombas de óleo, apoio da cambota e tampa, culassa e cárter intermédio e de distribuição;
- **AT4** – produção de árvores de equilibragem, tambores, *Cone Crabot*, rampa e eixos balanceiros;
- **AT5** – montagem das caixas de velocidade

3.2.3 Processo de Fabricação de Caixas de Velocidade

De seguida, apresenta-se uma breve descrição de cada etapa do processo para uma melhor compreensão de toda a dinâmica fabril, bem como todos os passos que são necessários para a produção de uma caixa de velocidades.

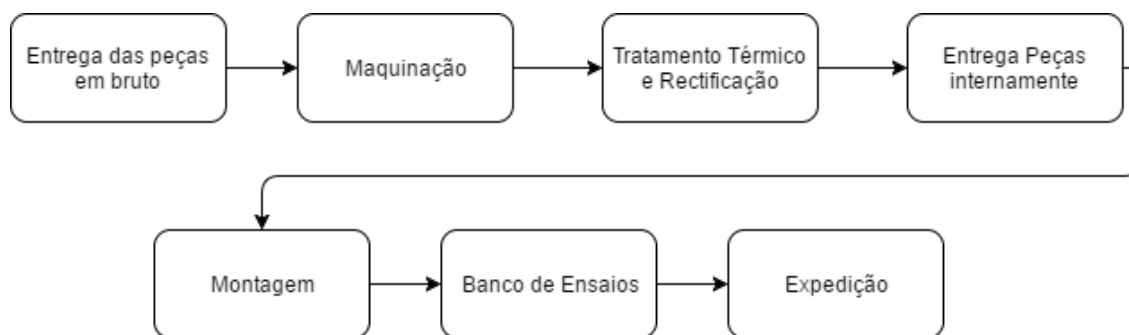


Figura 14 - Etapas produtivas de uma caixa de velocidades

1. **Entrega das peças em bruto** – as peças em bruto provenientes das fundições vão sofrer várias transformações.
2. **Maquinação** – Consiste em transformar as peças provenientes da fundição e forja dando a forma geométrica exigida, garantindo a Qualidade, Custo e Prazo. As peças sofrem várias operações como o torneamento, fresagem, talhagem, chanfrenagem, rebarbagem e soldadura. Cada etapa é controlada com o apoio de meios numéricos fortemente automatizados.
3. **Tratamento térmico e retificação** – As peças maquinadas passam por fornos para melhorar as suas características. Ciclos de aquecimento e arrefecimento permitem a realização de transformações de estrutura, influenciando a dureza, limite de elasticidade, fadiga em flexão e torção, desgaste por abrasão, rutura e choques. Numa segunda fase, a retificação consiste em fazer desaparecer as estrias e os defeitos geométricos das peças com o fim de garantir o elevado grau de precisão exigido.

4. **Entrega de peças internamente** – peças provenientes de fornecedores, tratadas e maquinadas convergem para a zona de montagem.
5. **Montagem** – Todos os componentes são agrupados por operadores ou robots numa linha de montagem, formando o produto final. Nas caixas de velocidades, os pinhões são empilhados nas árvores, o conjunto de mecanismo é colocado no cárter de embraiagem e o cárter de mecanismo é aparafusado no conjunto.
6. **Banco de ensaios** – A passagem das velocidades e estanqueidade final da caixa são verificadas. O banco de ensaios de 2ª geração permite garantir a conformidade dos carretos, a prestação de passagem de velocidades e prestação acústica das caixas de velocidade através de 3 ciclos de ensaio (Controlo Processo, Força Passagem, Mediação Vibratória). A inclusão de uma dupla motorização (entrada + saída) permite simular as acelerações e desacelerações do veículo, medição dos valores de esforço de passagem e vibração acústica para garantir a qualidade do dentado.
7. **Expedição** – As caixas são expedidas para fábricas de carroçaria do grupo ou construtores clientes.

3.2.4 Distinção

No ano de 2016 a Renault Cacia foi distinguida não apenas pelo Grupo Renault, mas também pela Aliança Renault-Nissan como a melhor na produção de caixas de velocidade. No fundo, um reconhecimento ainda mais global, uma vez que também as fábricas da Nissan espalhadas pelo mundo avaliaram a qualidade dos produtos da Renault Cacia. A exemplo do Grupo Renault, também a Aliança Renault-Nissan, com o objetivo de fomentar a competitividade entre todas as suas unidades industriais espalhadas pelo globo, estabelece, todos os anos, um “ranking”, com base nos seguintes critérios: Qualidade da Produção, Prazo, Escoamento da Produção e, claro, Performance Global.

As duas distinções conquistadas, em 2016, confirmam o “*know-how*”, a competência e o desenvolvimento tecnológico da Renault Cacia. Já no ano de 2017 a Renault Cacia foi mais uma vez distinguida pelo Grupo Renault, como a melhor fábrica na produção de caixas de velocidade, com base nos mesmos critérios.

4. Desenvolvimento do projeto

4.1 Atelier 5 (AT5) – Linhas de Montagem de Caixas de Velocidade

É nesta zona que convergem vários tipos de peças provenientes de outros AT's da fábrica e de fornecedores externos, para se proceder à montagem de caixas de velocidade. Aqui, são produzidos dois tipos de caixa, com diferentes características: JR e ND.

A caixa de velocidades JR, é uma caixa de 5 velocidades que equipa uma vasta gama de veículos particulares e utilitários da Renault, Dacia, Daimler e Mobius. Esta caixa é para carros de cilindrada baixa. Nesta gama inclui-se o Scénic, Mégane, Kangoo, Duster, Captur, Logan e Clio. O binário desta caixa é de 220 Nm e funciona com 2.5 litros de óleo. (Renault CACIA, 2016)

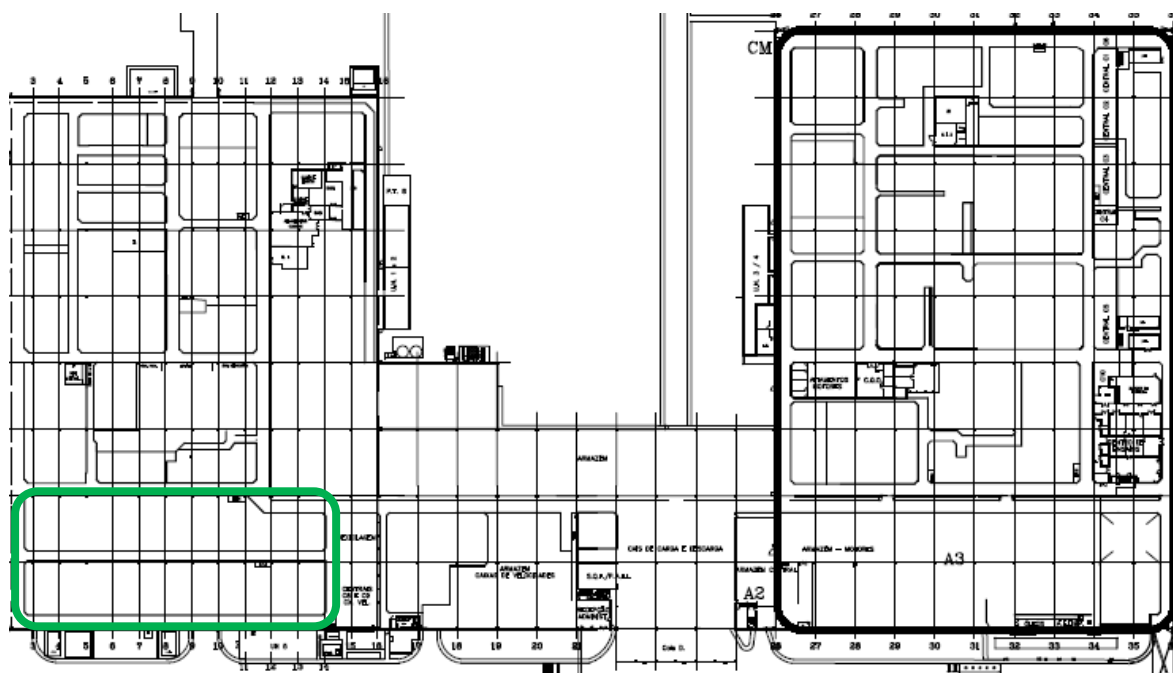
A Caixa de Velocidades ND, é uma caixa de 6 velocidades que equipa veículos particulares da Renault e Nissan que equipa motores de maior cilindrada. Nesta gama inclui-se o Mégane, Scénic e Qashqai. A sua particularidade é a de apresentar uma caixa diferencial esférica, uma marcha atrás sincronizada e um módulo de comando interno. Esta é uma caixa mais robusta, que possui mais binário e que produz menos óleo comparativamente quando comparada à JR. O seu binário é de 320 Nm e funciona com 1,8 litros de óleo (Renault CACIA, 2016).



Figura 15 - Caixa JR (esquerda) e caixa ND (direita)

Embora só haja dois tipos de caixa, dentro de cada família existem índices variados, cada um com pequenas diferenças entre si, tendo influência na montagem, devido ao acrescento ou não de pequenas peças.

O AT5 está localizado no edifício CV (Figura 16) e, é constituído por duas linhas de montagem de caixas de velocidade: Linha 2 e linha 3, conhecidas internamente por MB02 e MB03 respetivamente.



A MB03 produz apenas caixas do tipo JR, enquanto que a MB02, sendo uma linha flexível, é capaz de produzir JR e ND. Por produzir dois tipos de CV, esta linha torna-se mais complexa, tendo operações que são aplicáveis a ambas as caixas, mas também operações que só dizem respeito a um tipo de caixa. Sendo uma linha diferente e mais complexa está limitada em termos de produção. A MB02 tem capacidade para produzir 560 CV JR ou 540 CV ND por turno, enquanto que a MB03, sendo uma linha mais rápida e com produtos de uma só família, tem uma cadência produtiva de 640 CV JR por turno.

Ambas as linhas têm uma zona de *picking*, onde se efetua a preparação de uma pequena palete. Esta palete vai ter diversos componentes, como pinhões, baladers e árvores primária e secundária. Embora as zonas de *picking* funcionem independentemente, estas estão localizadas no mesmo espaço, no início da MB03. Portanto, as paletes da MB03 seguem diretamente para a linha de montagem em tapete rolante, enquanto que as paletes da MB02, contendo os componentes iniciais, são transportadas via AGV (*Automated Guided Vehicle*), sendo depois colocadas num circuito através de um robot (OP100). Este robot é responsável por colocar as paletes provenientes do *picking* MB02 numa base própria (base de linha).

À medida que estas bases chegam ao primeiro posto de trabalho (OP150), os cârteres de embraiagem (CED) provenientes do pólo de preparações via AGV, são introduzidos na linha principal por um operador, tanto na MB02 como na MB03 (OP190). É na OP190 que também é iniciada a preparação do CED para receber o conjunto pinhões + árvores + baladers. Após estes componentes estarem na linha de montagem, os operadores empilham os pinhões e os baladers nas árvores para posterior prensagem. Após as prensagens e a preparação do CED estarem concluídas, o conjunto pinhões + árvores + baladers é acoplado no CED através de um equipamento electropneumático (OP400). Nesta OP400, também são inseridos alguns dos eixos de sincronização.



1 – Picking MB03 2 – Picking MB02 3 – Entrada CED 4 – OP400 5 – Fluxo secundário (CM) 6 – Fecho da caixa 7 – Banco de ensaios 8 – Produto final 9 – Preparação baladers

Figura 17 - Linha 2 e Linha 3

Existe também um circuito fechado exclusivo para a preparação do cárter de mecanismo (CM). Este é transportado para este circuito via AGV. Este circuito exclusivo para o CM é paralelo ao fluxo principal. Neste momento, tanto o CED, já com os pinhões e árvores, como o CM andam ao mesmo nível e lado a lado. É também nesta fase em que eventuais folgas são analisadas através de um sistema de análise computacional e estas, são colmatadas através da colocação de cales por um operador (OP420-425 e OP430 respetivamente). Após estas operações, um operador faz o fecho da caixa (OP445), levando o CM para o fluxo principal, acoplando-o no CED. Este fecho é finalizado nas OP465-1 e OP465-2 em que dois *robots* tratam de aparafusar a caixa por completo.

Seguidamente, as caixas são testadas a nível de fugas, bem como a nível mecânico. As duas linhas têm a particularidade de integrarem bancos de ensaios (OP545/546), em que todas as caixas são testadas. A MB02 possui dois bancos de ensaio enquanto a MB03 possui apenas um. Nestes bancos são efetuados testes de sincronização, vibratórios e testa-se o esforço de passagem das velocidades através do binário aplicado. Se as caixas forem validadas, seguem para uma gravadora por questões de rastreabilidade (OP600). Após isto, os componentes finais são montados e o produto final é colocado em contentores (OP650) para serem levados para o armazém. De notar que as CV seguem em bases planas (Paletes de linha) ao longo da linha toda e após a colocação das CV em contentores, estas bases seguem em tapete aéreo para o início da linha, sendo reintroduzidas na OP190.

O estudo efetuado é focalizado na MB02 pelas maiores necessidades de otimização comparativamente à MB03. Apesar de ser capaz de produzir dois tipos de família, as análises efetuadas vão sobretudo para um só tipo: JR. A MB02 tem capacidade para produzir 540 ND, contudo, só produz 300 devido às necessidades do cliente. A JR representa a maior parte do volume de negócios da fábrica, portanto torna-se mais importante analisar com mais detalhe a produção da JR. Esta linha irá também receber coleções de Cléon e algumas da MB03, pois a MB03 no futuro irá começar a produzir outra família de caixas.

Embora o estudo seja centralizado na JR, oportunidades de melhoria e benefícios surgem automaticamente para a ND, uma vez que há operações em que as duas famílias de CV sofrem alterações e portanto, também são consideradas e estudadas.

4.2 Análise da MB02 – JR

Para uma melhor compreensão de todo o processo na MB02 é importante listar todas as operações que constituem esta linha, bem como uma breve descrição do que é feito em cada OP (Operação).

Tabela 2 - Operações da MB02

OP	Descrição
<i>Picking</i>	Preparação do <i>kit</i> árvore + balader + pinhão
OP100	Colocação das árvores, baladers e pinhões na paleta de linha através de um <i>robot</i>
OP150	Empilhagem e prensagem dos pinhões e baladers nas árvores primária e secundária
OP151-151M	
OP175	Aparafusamento da coroa no diferencial e colocação de rolamento
OP195-200	Preparação do CED
OP205	Prensagem de rolamento e cuvete
OP210	Prensagem dos casquilhos e vedantes
OP300	Preparação do CM
OP400	Montagem do conjunto de árvores e do diferencial no CED
OP410	Montagem dos eixos de sincronização
OP420-425	Teste de rotação das árvores primária e secundária Medição de folga do CM
OP430	Colocação de cales no CED e CM
OP440	Aplicação de silicone no CED
OP445	Colocação do CM no CED
OP460	Colocação de parafusos de costura
OP465-1-2	Aparafusamento de parafusos
OP470	Colocação Vedantes
OP500-505	Colocação grupo de 5ª e contactor
OP502	Prensa do grupo de 5ª
OP507	Aparafusamento do grupo de 5ª
OP508	Aperto de anel de elevação, <i>Arret Gaine</i> e esquadro

Tabela 3 - Operações da MB02 (continuação)

OP510	Colocação de tampa de 5ª e teste marcha atrás
OP530	Teste de fugas
OP545-546	Banco de Ensaios
OP600	Gravação de número de série
OP620	Colocação do CSC (<i>Clutch Slave Cylinder</i>) e pernos
OP640	Aperto do bujão e controlo <i>Arret Gaine</i>
OP650	Colocação das CV nos contentores

O sinótico da MB02 encontra-se no anexo A, para assim ser possível a compreensão dinâmica que as diferentes OP's têm entre si.

4.2.1 Estado inicial

Numa primeira abordagem fez-se o estudo dos tempos de cada operação que constitui a MB02. A medição do trabalho consiste em calcular o tempo necessário para completar uma determinada tarefa. Os tempos de trabalho são importantes *inputs* para o planeamento e gestão da mão-de-obra, bem como para se estimarem os custos de produção (Stevenson, 2005).

O tempo padrão corresponde à quantidade de tempo necessária para a realização de uma tarefa específica, executada por um operador qualificado, a um ritmo de trabalho normal, utilizando ferramentas, equipamentos e métodos definidos. Para se estimar o tempo padrão de um trabalho é necessário fornecer uma descrição precisa dos parâmetros do mesmo para que o seu valor seja representativo da realidade. (Stevenson, 2005).

O método de cronometragem, originalmente desenvolvido por Frederick W. Taylor, constitui, atualmente, o método de medição de tempos padrão mais comum. É ainda considerado uma das melhores ferramentas para se evitar desperdícios, através da medição dos custos e dos benefícios de um novo processo ou, simplesmente, de uma melhoria (Meyers & Stewart, 2002). Aplica-se a tarefas pequenas e repetitivas. Baseia-se em várias observações de um trabalhador a desempenhar determinada tarefa para se chegar a um tempo padrão. É de realçar que devem estar sujeitos ao mesmo estudo todos os operadores que realizem a mesma tarefa, desde que devidamente qualificados e a trabalhar a um ritmo constante. Segundo Stevenson (2005) este método está dividido em quatro passos:

- 1 – Definir a tarefa a analisar e informar o operador que vai ser estudado.
- 2 – Determinar o número de observações a realizar.
- 3 – Medir a duração da tarefa e classificar o trabalho do operador.
- 4 – Calcular o tempo padrão.

Neste estudo foram recolhidos 20 tempos de cada operação, com um operador de referência e em situações consideradas normais. Dependendo da variabilidade de cada

amostra, mais observações são feitas. Após a recolha dos tempos, o maior e o menor tempo são retirados e é feita uma média através da equação 1:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Para todas as operações que não são automáticas, e portanto são executadas por um operador, é incluído um fator de compensação. Este é um fator que é acrescentado à média calculada anteriormente em forma de percentagem. Na Renault Cacia está definido que o fator compensação é de 10%. Portanto o valor final é calculado pela equação 2:

$$Tc = \bar{x} * (1 + A) \quad (2)$$

Sendo,

Tc = Tempo de ciclo

A = Percentagem de compensação.

Após o tratamento dos dados o gráfico inicial (Figura 18) foi gerado. Todos os tempos são apresentados em segundos.

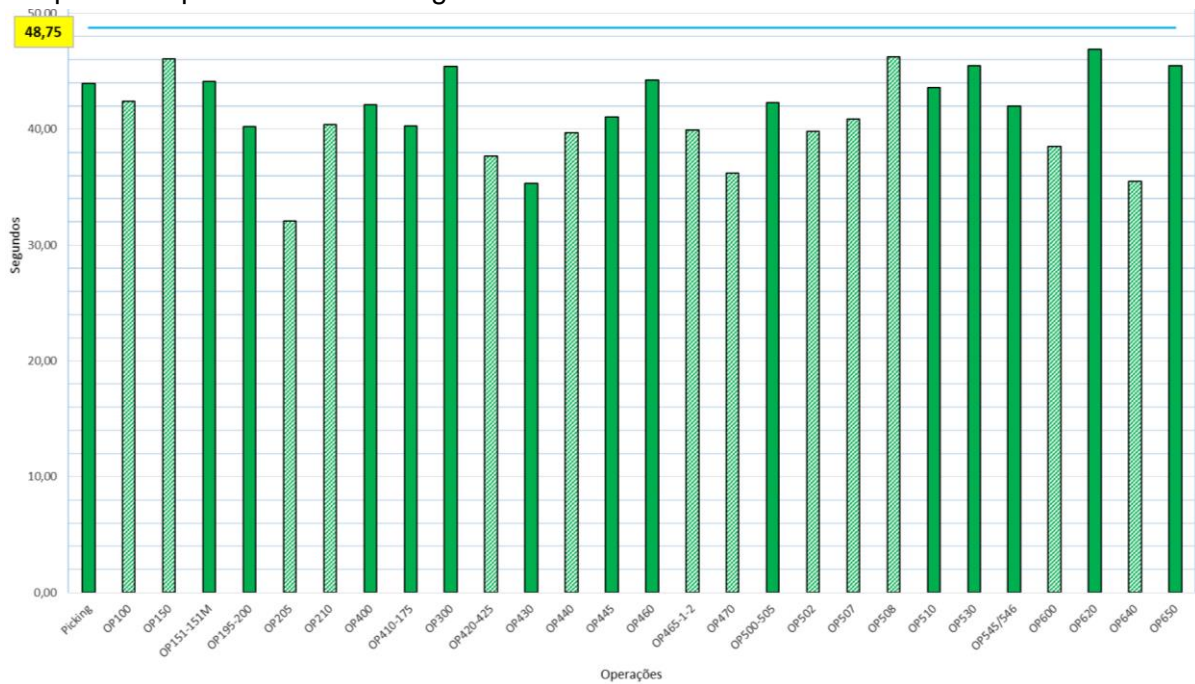


Figura 18 - Estado inicial MB02

As barras com um verde mais claro dizem respeito a operações que são automáticas. Todas as outras são executadas por operadores. Para uma produção de 560 JR o *Takt Time* é calculado pela equação 3 a seguir apresentada e é representado no gráfico como uma linha reta azul.

$$Takt\ time = \frac{455 * 60}{560} = 48.75\ seg \quad (3)$$

Apesar de um turno ter 8 horas, ou 480 minutos, após o desconto do tempo para paragens previstas, o tempo de abertura é de 455 minutos.

No caso das operações que possuem postos paralelos foram retirados os tempos de cada uma destas operações e foi feita uma média entre eles. Na MB02 só temos dois casos destes que são a OP465-1-2, referente ao aparafusamento final da caixa e a OP545/546, referente ao banco de ensaios.

Após uma análise rápida, é possível averiguar que a linha é capaz de produzir as 560 JR previstas pelo cliente, pois todos os processos estão abaixo do *Takt time* e portanto, a procura é satisfeita.

4.2.2 Estado futuro

Um dos objetivos do estudo é aumentar a produção da JR em 7% e portanto, para uma cadência por turno de 600 JR. Para uma produção de 600 JR, o *Takt time* já é diferente, porque este tempo é condicionado pela procura. A procura ao ser maior, o *Takt time* vai ser menor e, portanto, a exigência dos processos é maior. Assim, o gráfico anterior irá sofrer algumas alterações.

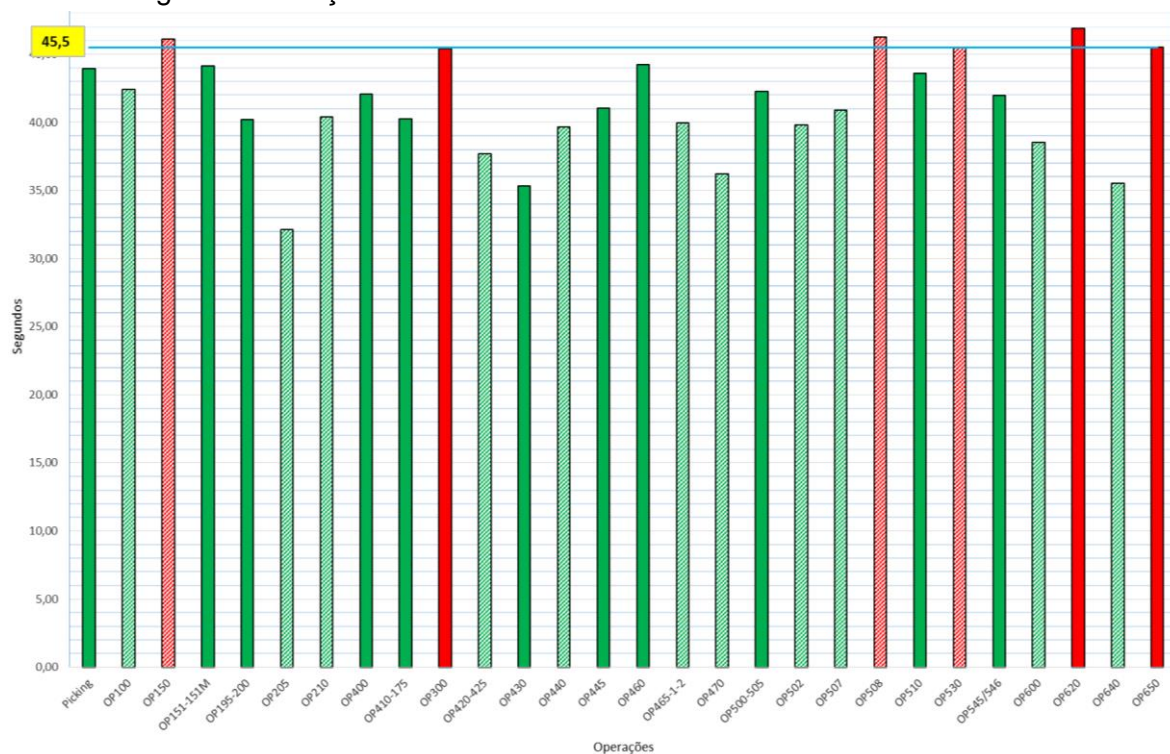


Figura 19 - Estado futuro MB02

Como se pode ver na figura 19, temos agora vários processos que aparecem a vermelho, pois estão acima da linha do *Takt time*. Todas as operações que estão a vermelho têm que ser estudadas e trabalhadas com a finalidade de reduzir o seu tempo de ciclo, para assim, ficarem situadas abaixo da linha e, conseqüentemente, a produção de 600 JR ser possível. Com a nova procura de 600 caixas por turno, o novo *Takt time* é agora 45.5 segundos, como indicado na equação 4:

$$Takt\ time = \frac{455 * 60}{600} = 45.50\ seg \quad (4)$$

Após esta recolha de dados e posterior apresentação à equipa de progresso contínuo, decidiu-se focar nas operações que estão mencionadas na tabela 4. No total são 6 operações que colocam em risco o rendimento operacional e, portanto, uma segunda análise mais aprofundada é necessária. Na mesma figura é possível ver a diferença do tempo de ciclo para o *Takt Time* e qual o recurso gargalo: OP620, que limita a produção apenas a 582 caixas JR. Destas 6 operações, três são automáticas (azul), sendo as restantes executadas por um operador qualificado.

Tabela 4 - Operações críticas

OP	TCy (seg.)	TCy (min.)	<i>Takt Time</i>	Δ	Produção Hipotética	Tempo Total Necessário
OP150	46,08	0,77	45.50	+0,58	592	461
OP300	45,43	0,76	45,50	-0,07	600	454
OP508	46,25	0,77	45,50	+0,75	590	462
OP530	45,50	0,76	45,50	0,00	600	455
OP620	46,89	0,78	45,50	+1,39	582	469
OP650	45,51	0,76	45,50	+0,01	599	455

Após uma segunda análise mais detalhada, há algumas operações em que o processo de melhoria é mais simples do que outras. De seguida, é apresentado com mais detalhe o que é feito em cada uma destas operações, os problemas encontrados, e as possíveis melhorias.

4.3 Desenvolvimento de soluções

4.3.1 OP150 – Início da empilhagem dos baladers e pinhões

É nesta operação que se dá início à empilhagem dos baladers e pinhões nas árvores primária e secundária. Após a paleta de linha parar neste posto, há a prensagem dos rolamentos da árvore secundária. Apesar da prensagem ser uma tarefa relativamente rápida, o elevado tempo de ciclo deve-se a outro fator.

Neste posto também se dá a leitura de etiquetas dinâmicas da paleta de linha. Estas etiquetas contêm informação de cada índice de caixa. A etiqueta quando é lida em cada posto, luzes acendem para indicar as peças que a caixa necessita. Isto faz com que haja a prevenção de defeitos e colocação de peças erradas e, consequentemente, a prevenção de reclamações no cliente. Basicamente, estas etiquetas são um *poke yoke* digital. Também servem para assinalar no posto quando há alteração de índice e/ou alteração do tipo de caixa. No caso de uma CV vier com defeito do cliente, é possível saber em que dia e hora estas partes foram montadas, e, assim, torna-se mais rápida a descoberta das causas. Quando o defeito é detetado na própria linha de montagem e a CV tem que ir para análise, a reintrodução da CV na linha é feita através da leitura desta etiqueta para alimentar o sistema.

Posta esta questão, foi possível contactar o automatista para se proceder à otimização da leitura e escrita da etiqueta dinâmica para a OP150.

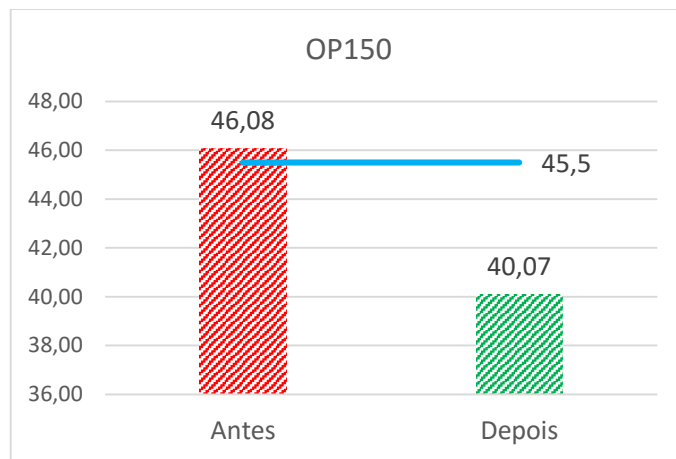


Figura 20 - TCy OP150

Após intervenção no autômato e da antecipação da leitura da paleta de linha, houve uma redução de aproximadamente de 13% do tempo de ciclo da OP150.

4.3.2 OP300 – Preparação CM

Esta operação está localizada no circuito da preparação do CM. As tarefas que constituem a OP300 são:

1. Colocação de rolamentos;
2. Colocação do módulo de comando;
3. Golpilhagem do módulo de comando;
4. Aperto do módulo de comando;
5. Colocação da billage, ou eixo falso.

Na figura 21, é demonstrado o *layout* do fluxo secundário e parte do fluxo principal. O CM é colocado no fluxo secundário por um operador (1). De seguida o CM segue até à OP300 onde as tarefas acima mencionadas são executadas (2). Após isto, o CM só sofre alterações na OP425 (3). Na OP430 (4) são colocadas as cales e na OP445 o CM é colocado sob o CED já no fluxo principal (5).

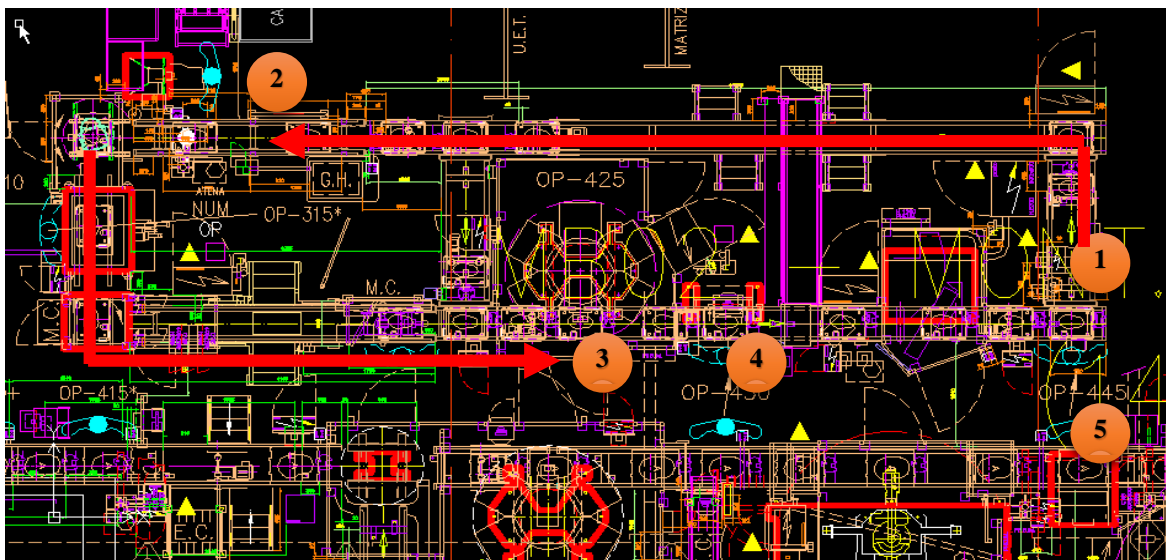


Figura 21 - Fluxo secundário atual

Para além do elevado tempo de ciclo da OP300, o CM percorre uma grande distância sem sofrer qualquer alteração, como é possível ver na figura 21.

A solução encontrada foi o deslocamento da OP300 para outra localização e a modificação do posto, demonstrado na figura 22.

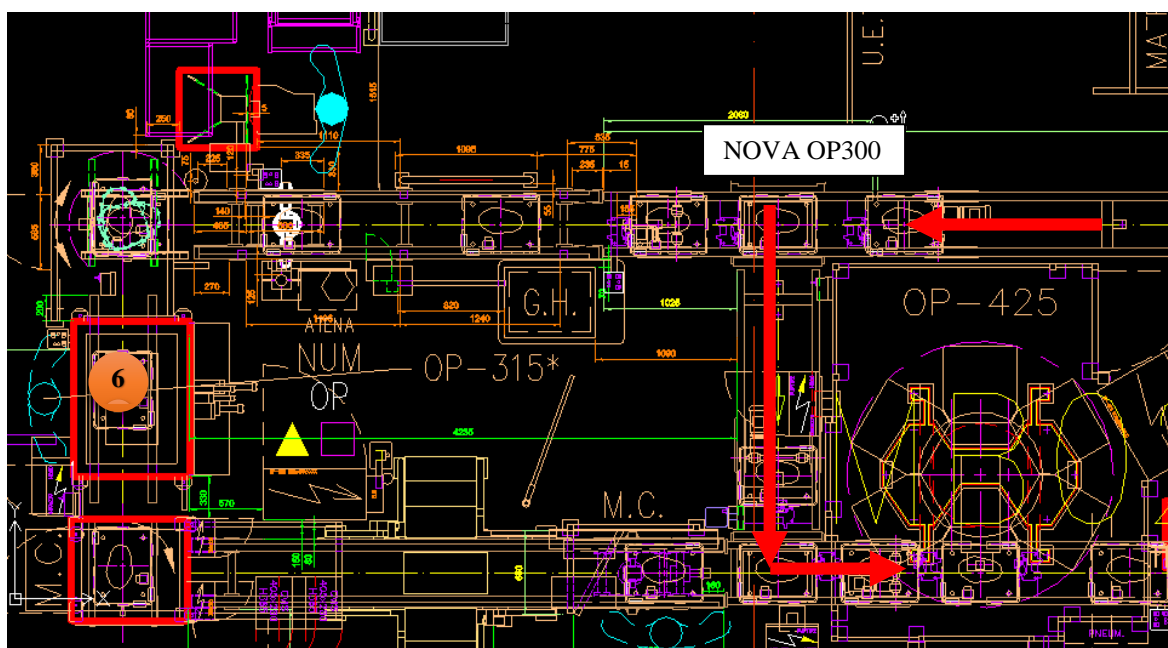


Figura 22 - Localização da nova OP300

Neste novo posto, instalou-se uma máquina que faz o aperto automático do módulo do comando. Isto permite ao operador uma maior facilidade na execução do posto. Um CM chega a este novo posto e o operador coloca a billage, os rolamentos e o módulo de comando. Depois de carregar numa botoneira de validação, existe um *ripper* rotativo que coloca o CM do lado da máquina de aparafusamento. Enquanto se dá o aperto do módulo do comando, o operador já está a preparar o próximo CM. Após a preparação total do CM, este segue para a OP425 como ilustrado na figura 22.

Também os CM da caixa ND têm que passar por este fluxo secundário, embora não haja qualquer tipo de melhoria para este tipo de caixa, porque a OP300 não faz parte da ND. É necessário também que haja uma gestão eficaz das etiquetas dinâmicas, ou seja, quando um CM do tipo ND entra no fluxo secundário, este tem que ser encaminhado para a OP320 (6) e não para a OP425 diretamente.

Com esta alteração, a distância percorrida pelo CM sem sofrer alterações diminuiu consideravelmente. Assim, o CM passa a percorrer menos 13,5 metros. Isto permite que o CM chegue mais rápido à OP425, prevenindo quaisquer atrasos no fluxo secundário.

Devido ao paralelismo das tarefas, também o tempo de ciclo foi afetado. Não só as tarefas foram repartidas, como estas podem ser feitas ao mesmo tempo.

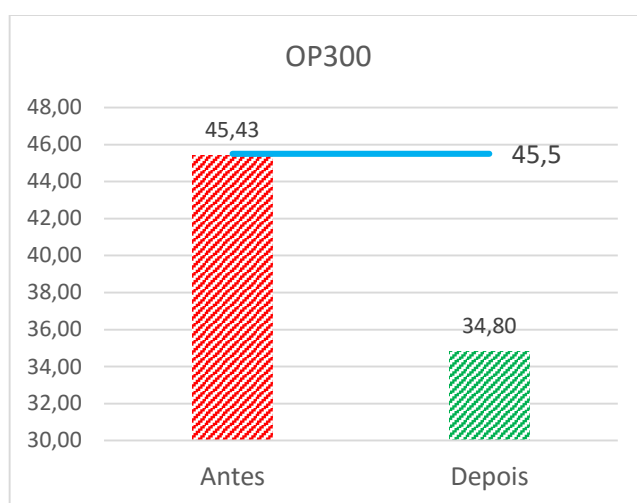


Figura 23 - Tcy OP300

O posto original foi mantido para salvaguardar eventuais avarias do aperto automático, tornando-se assim um modo alternativo para a nova OP300. Sempre que este novo posto avariar, o modo alternativo é ativado e o operador consegue fazer as suas tarefas normalmente, sem afetar a produção.

4.3.3 OP508 – Aperto do *Arret Gaine*, anel de elevação e esquadro

Este é um posto automático, em que um *robot* é responsável pelo aparafusamento de componentes. Estes componentes variam consoante o índice da caixa JR. O tempo que foi incluído neste estudo, foi o tempo com os índices de caixa com necessidade de mais apertos. Os componentes que são apertados nestes índices são:

1. *Arret Gaine* (2 parafusos)
2. Anel de elevação (1 parafuso)
3. Esquadro (2 parafusos)

Noutros índices, só há a necessidade de aperto do anel de elevação e do *Arret Gaine*, reduzindo o tempo de ciclo para 30,75 segundos, ficando dentro do tempo desejado.

Os parafusos do anel de elevação e do esquadro já vêm apontados de outros postos, enquanto que os parafusos do *Arret Gaine* têm que ser colocados pelo o operador que está a jusante na OP510.

Este posto só inicia a sua tarefa quando o operador da OP510 coloca os dois parafusos no robot, pelo que qualquer atraso por parte deste operador, pode afetar ainda mais a *performance* desta operação.

Após observações com mais atenção, foi possível descobrir o porquê da OP508 ter um tempo de ciclo tão elevado, mesmo sendo um posto automático. Como foi dito antes, a OP508 só inicia as suas funções após o operador da OP510 colocar os 2 parafusos no *robot*. Foi observado que após a colocação dos 2 parafusos, o *robot* da OP510 demorava aproximadamente 5 segundos para iniciar o seu ciclo após validação do operador. Estes 5 segundos eram o tempo necessário para a ativação dessa barreira e, portanto, a OP510 só poderia funcionar após estes segundos. Por questões de segurança, foram implementadas barreiras neste posto. Ou seja, se o operador da OP510 atravessasse estas barreiras quando estas estivessem ativas, a OP508 parava imediatamente por segurança. Apesar destas medidas de segurança, estas barreiras fizeram com que o tempo de ciclo da OP508 aumentasse.

Estes 5 segundos representam 11% do tempo de ciclo total da OP508.

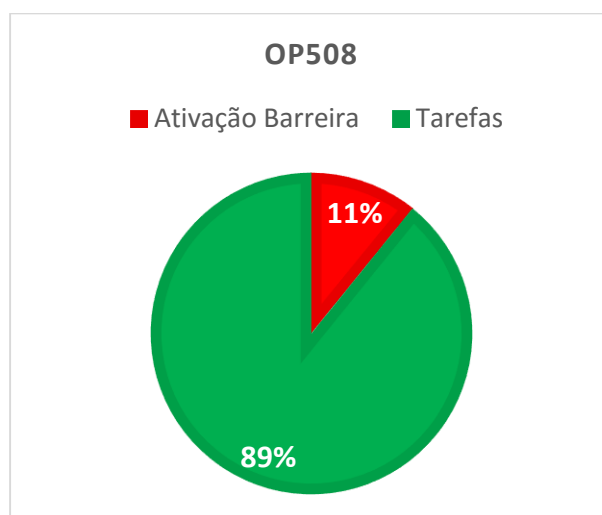


Figura 24 - Percentagem de tarefas OP508

Era fulcral a substituição destas barreiras por outras mais avançadas, em que o tempo de ativação não fosse tão grande e, assim, não prejudicasse tanto o tempo de ciclo da OP508. Estas barreiras foram então trocadas por umas de nova geração, reduzindo o tempo de ativação para 1 segundo. Consequentemente o tempo de ciclo da OP508 também diminuiu. Após a substituição, foi feito um novo estudo de tempos exclusivo para a OP508. Os resultados desta substituição podem ser vistos na figura 25.

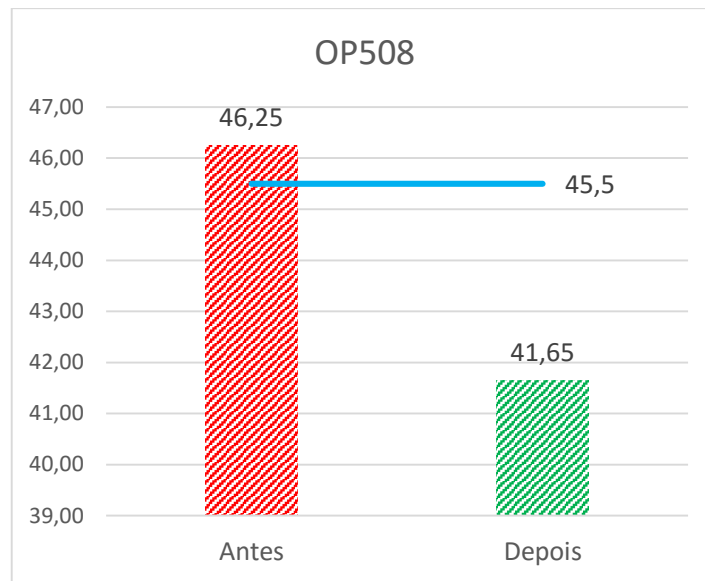


Figura 25 - Tcy OP508

Houve uma redução de aproximadamente 4,6 segundos no tempo de ciclo da OP508, o que corresponde a uma redução de 10%.

4.3.4 OP530 – Teste de estanqueidade

A OP530 é um posto automático de controlo de qualidade. Esta máquina está responsável pela deteção de fugas de ar na caixa de velocidades e também pelo controlo da presença do módulo de comando.

Aproveitando o fato de haver duas máquinas de estanqueidade, uma para ND, designada OP535, e outra para JR, desenvolveu-se um estudo sobre como seria possível a repartição de tarefas entre as duas. Ou seja, as duas máquinas funcionariam para JR, diminuindo assim o tempo de ciclo da OP530. Assim, tendo em conta as características das máquinas e as devidas adaptações na máquina, as tarefas ficam divididas da seguinte maneira:

Tabela 5 - Repartição tarefas OP530

OP530		OP535	
Deteção de fugas	40,30s	Teste <i>Poke Yoke</i> de presença do módulo de comando	9,60s

Apesar desta solução acrescentar uma operação à linha de montagem, as tarefas ao ficarem divididas, faz com que o tempo destas seja repartido e, portanto, há uma repartição do tempo de ciclo entre as duas operações.

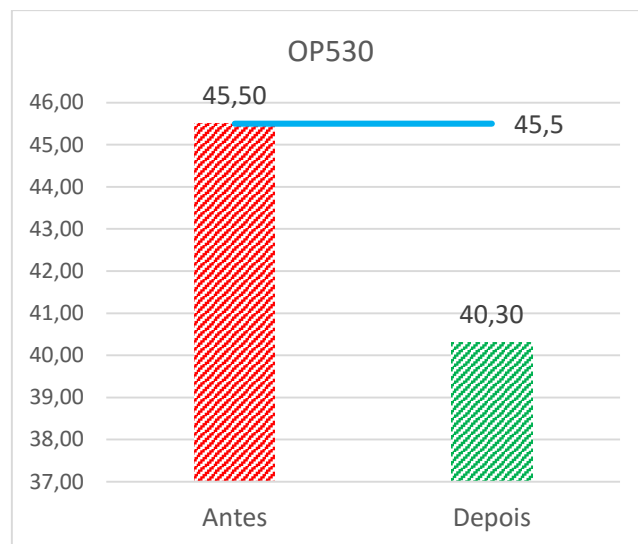


Figura 26 - Tcy OP530

Após estas alterações, os resultados podem ser encontrados na figura 26. O tempo de OP530 é reduzido para 40.30 segundos aproximadamente.

4.3.5 Zona de Descarga das Caixas de Velocidade

Embora o estudo tenha sido em toda a linha, a zona de descarga foi onde foi dedicado mais tempo de análise e de trabalho pois é um circuito fechado e, em algumas ocasiões, algumas OP's estão dependentes de outras. Através da análise de tempos feita anteriormente, é nesta zona que está localizado o posto tampão e, por isso, torna-se vital compreender o modo de funcionamento como um só. Esta zona (Figura 27) é composta pela OP600, OP620, OP640 e OP650 e fica situada logo após os bancos de ensaios (OP545-546).

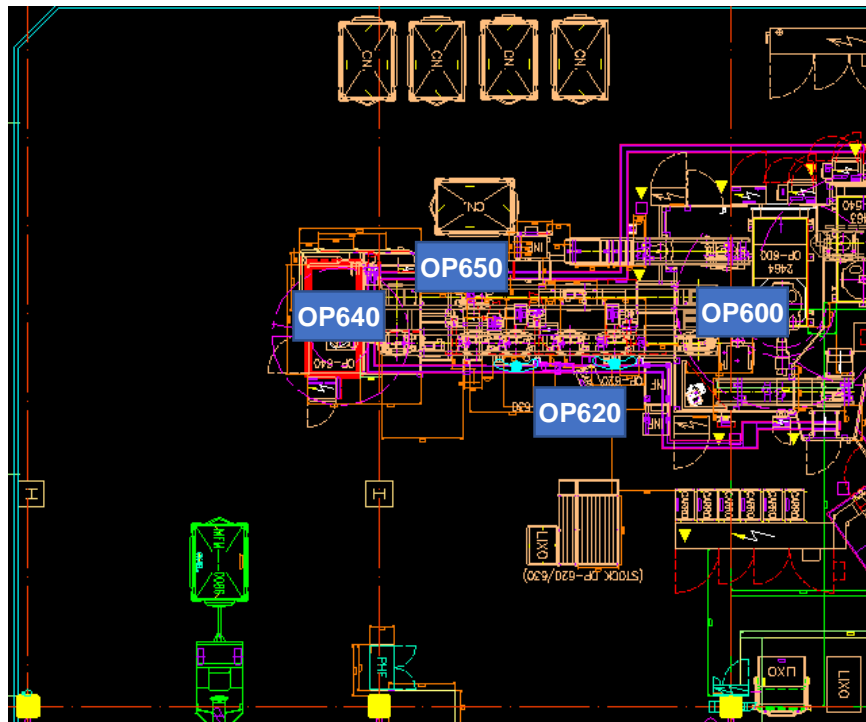


Figura 27 - Zona de descarga

Para uma melhor compreensão de como funciona a zona de descarga, foram realizados alguns esboços para, assim, ser mais fácil perceber como este sistema funciona. Mais esboços vão ser realizados para detalhar cada um dos postos. Na figura 28 é possível visualizar toda a zona de descarga de uma forma geral e perceber o seu modo de funcionamento.

Uma CV proveniente do banco de ensaios chega à OP600. Aqui, o ciclo de gravação da CV é iniciado. Logo após este ciclo ter terminado, um robot pega na CV e coloca-a na OP620 numa paleta rotativa, fazendo com que a caixa fique na vertical e com a tampa de 5ª virada para o operador. A seguir, a CV segue para um posto que não está representado, pois é simplesmente um controlo *poke yoke* que deteta se o CSC (*Clutch Slave Cylinder*) foi colocado de forma correta e o seu tempo de ciclo pode ser desprezado. De seguida, vai para a OP640 onde é colocado o bujão de óleo e a presença do *Arret Gaine* é verificada. Finalmente, na OP650 a CV é retirada da linha de montagem e colocada em contentores adequados, que dependem do tipo de caixa e do próprio índice. Este operador também é responsável por colocar os contentores numa zona adequada para serem transportados para o armazém. A paleta rotativa + paleta linha continuam, até que o robot da OP600 fica encarregue de colocar a paleta de linha num tapete aéreo, onde esta retorna ao início da linha de montagem (OP190) para receber um novo CED. A paleta rotativa está então pronta para receber mais uma CV da gravadora, posicionando-se a jusante desta.

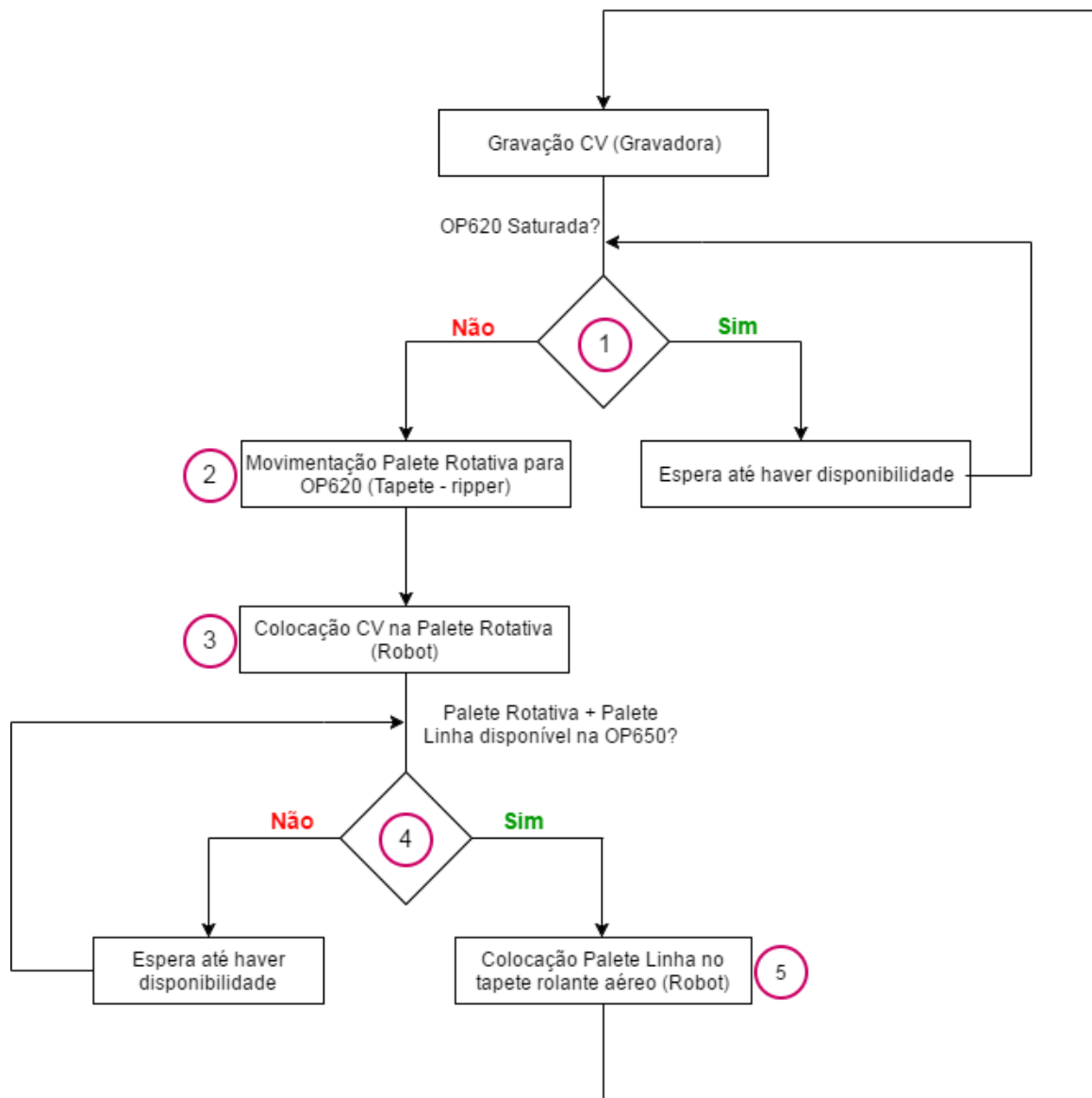


Figura 29 - Fluxograma OP600

Todos estes passos do fluxograma podem ser acompanhados na figura 30, em que os números correspondem aos do fluxograma. Quando uma OP não consegue trabalhar devido a uma OP a jusante, dizemos que estamos sob um caso de saturação. Tanto a OP620 e a OP600 têm um *buffer* de duas CV. Se a OP600 estiver saturada por longos períodos de tempo, vai fazer com que os bancos de ensaio fiquem saturados, parando-os. Isto é uma situação que não é desejável.

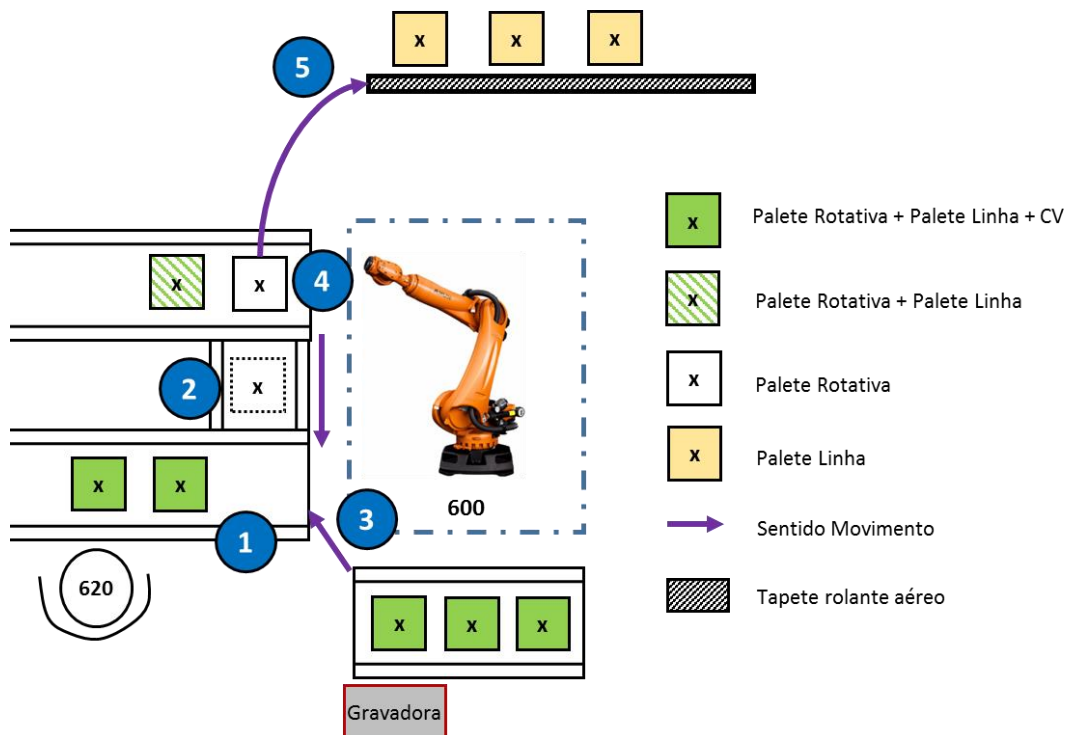


Figura 30 - Sequência OP600

O tempo de ciclo normal da OP600 é de 35.71 segundos. Este é o tempo em que a OP600 demora a pegar numa CV, colocá-la na OP620 (3), a retirar a paleta de linha para o tapete aéreo (5) e a pegar novamente na CV seguinte. Ou seja, um ciclo contendo os números 3 e 5, conforme visto na figura 30.

Contudo, após várias observações e algum tempo à volta deste posto, foi possível perceber que o tempo da OP600 sofria muita variabilidade. Embora em todos os processos exista variação, entender e reduzir a mesma são as chaves para o sucesso. De facto, só conhecendo a variação inerente a um processo se consegue gerir adequadamente o seu *output*. Ao conhecer o comportamento ao longo do tempo é possível também fazer previsões.

É necessário também perceber que existem fontes de variação incontrolláveis (causas comuns) e causas especiais de variação que podem ser detetadas e controladas (causas assinaláveis). Não distinguir entre as causas referidas pode aumentar a variação no sistema. A dispersão deve-se:

- A causas comuns, imprevisíveis e impossíveis, difíceis ou caras de evitar – causas aleatórias
- A causas menos comuns, e eventualmente evitáveis, que explicam uma parte da dispersão nos resultados – causas assinaláveis

Tendo isto em conta, várias observações foram feitas para ter uma primeira perspetiva da variação nesta operação. Para uma amostra inicial foram gerados os gráficos que estão representados nas figuras 31, 32 e 33 para servir de exemplo. Todas as amostras foram recolhidas em dias e horas diferentes, para conseguir a consistência desejada.

Como referido anteriormente, dentro de um tipo de caixas há diversos índices em que a sua montagem pode variar. Dentro da zona de descarga, só o modo de procedimento da OP620 é que pode variar consoante o índice de caixa. Neste posto a variação ocorre na introdução do número de pernos: 1 ou 2 pernos. Se o índice for de 2 pernos, a OP620 tem mais uma tarefa, que é apertar esse perno extra.

Apesar de só a OP620 sofrer alterações no modo de procedimento, as outras operações podem ser influenciadas por esta mesma.

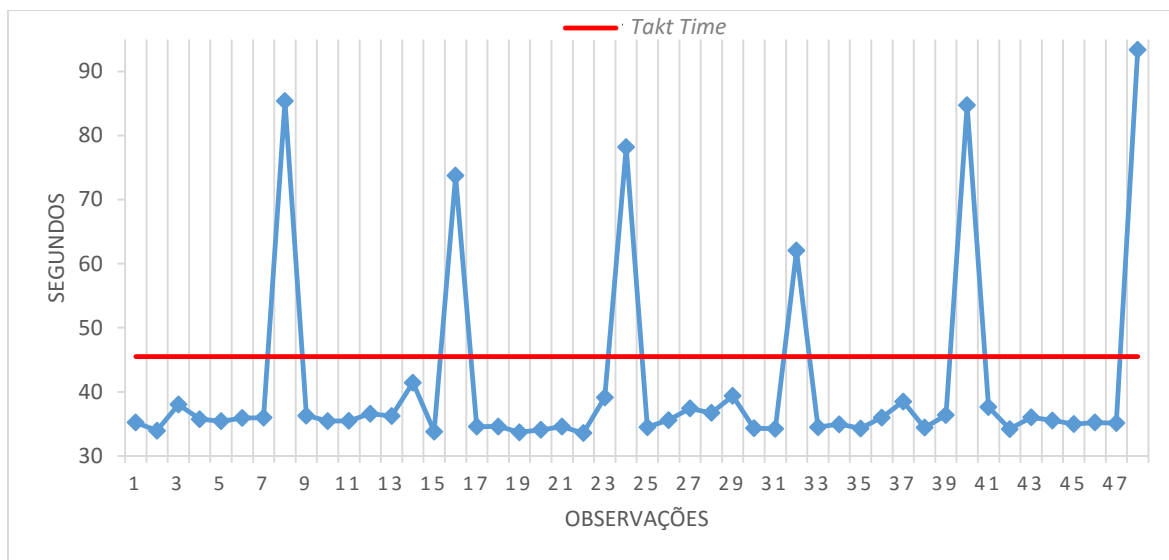


Figura 31 - OP600 com 1 Perno

Quando o índice de caixa a produzir necessita de 1 perno na OP620, a OP600 comporta-se como na figura 31. Todos os pontos que estão acima da linha a vermelho, representam um ciclo em que o *Takt Time* não foi cumprido, e por isso, a *performance* do sistema foi afetada. Convém então compreender o porquê destas observações variarem. Desde logo é possível verificar que há um padrão: de 8 em 8 observações, existe uma que ultrapassa o *Takt Time*, embora que o desvio de cada uma não seja igual, ou semelhante.

Um dos critérios satisfeitos para o bom funcionamento da OP600 é que haja uma paleta rotativa + paleta de linha após a OP650 como demonstrado na figura 30, no ponto (4). O gráfico retrata esta mesma falha do critério. De 8 em 8 observações não havia o conjunto paleta rotativa + paleta de linha disponível para o robot da OP600 conseguir transportar a paleta de linha para o tapete aéreo. Isto faz com que o robot fique à espera, como é demonstrado na figura 29. Estas paletes não estavam disponíveis por uma simples razão: o operador da OP650 não estava no seu posto. Isto porque após 8 caixas colocadas no contentor, este tem que transportar o contentor para um sítio específico para, assim, serem transportados para o armazém de *charlatte*. As caixas com 1 perno são portanto, transportadas em contentores de 8 unidades. Logo, de 8 em 8 caixas, este operador tem que deixar o seu posto, interrompendo o fluxo de paletes no circuito, e, como tal decorrerá uma paragem na OP600 por falta de paletes e na OP620 por falta de caixas.

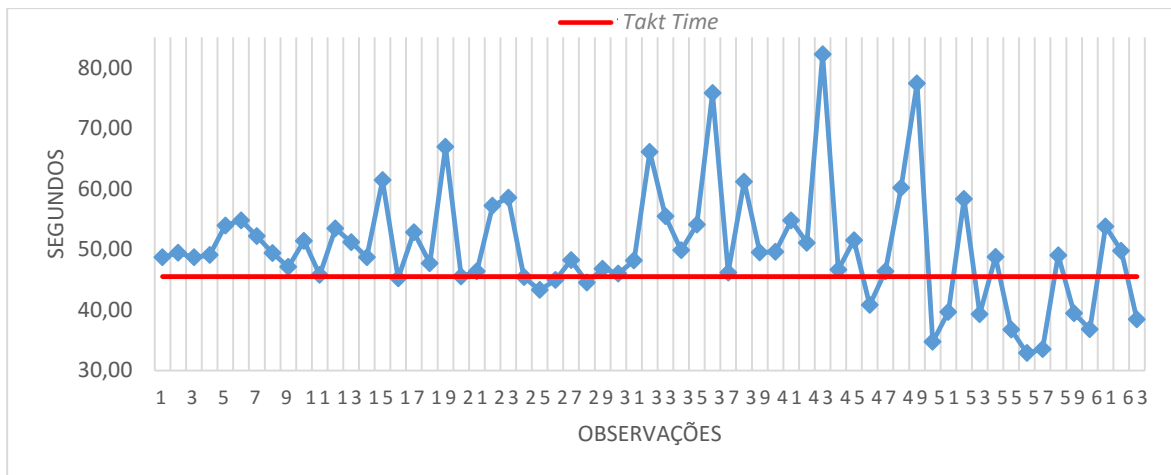


Figura 32 - OP600 com 2 Pernos (1ª amostra)

Neste segundo gráfico (figura 32), os índices com 2 Pernos são representados. Mais uma vez, é importante referenciar que a quantidade de Pernos em nada influencia a OP600, mas sim o posto OP620, que tem que introduzir um perno a mais.

Um dos critérios para o bom funcionamento da OP600 é que a OP620 não esteja saturada. Isto significa que, se o *buffer* da OP620 for igual a 2, a OP600 provavelmente irá parar. Acompanhando o fluxograma da figura 29 e a figura 30 consegue-se perceber a razão. A OP620 ao estar saturada, faz com que não exista um espaço disponível para a paleta rotativa se movimentar e, portanto, não existe sítio para o robot da OP600 colocar a CV.

As causas de variação da OP600, quando há a produção de caixas com índice que requerem 2 Pernos, são sobretudo devido à saturação da OP620. Esta saturação é causada pelo modo operatório da OP620, pelo elevado tempo de ciclo e pelo abastecimento da OP620. O modo de funcionamento da OP620 irá ser explicado mais adiante neste relatório. Assim, o tempo de ciclo da OP600 está a ser ditado pela OP620. Apesar do tempo de ciclo da OP600 ser bastante inferior ao da OP620, a OP600 devido a saturação, começa a assumir os valores praticados pela OP620.

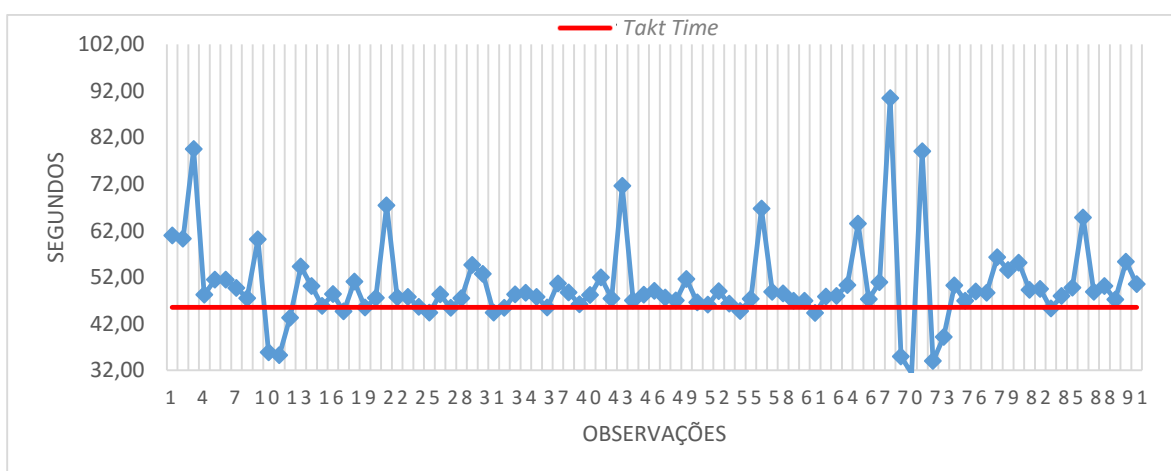


Figura 33 - OP600 com 2 Pernos (2ª amostra)

A figura 33 só confirma a grande variabilidade a que a OP600 está sujeita. Sendo um posto automático, é impensável ter tantas observações fora do *Takt Time* e com tanta

variabilidade. Os resultados desta análise inicial tornam-se preocupantes na medida em que os índices da JR com 2 pernos representam a maior parte da produção (Figura 34).

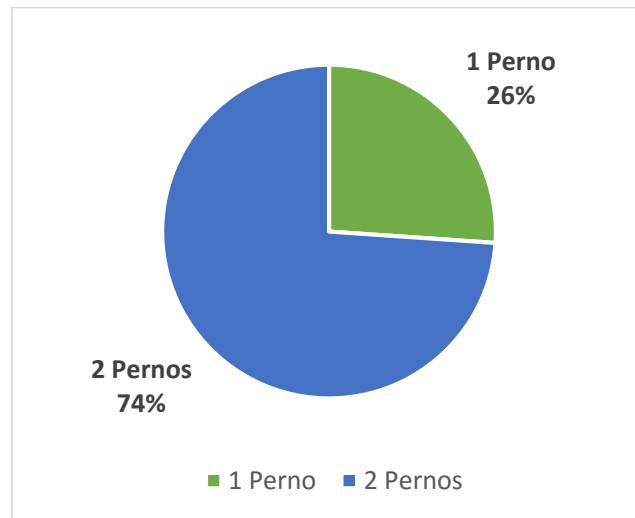


Figura 34 - Percentagem de índices JR

Neste sentido foi feito um estudo mais pormenorizado acerca da variação das caixas com índice de 2 pernos. Várias observações foram feitas, contabilizando um total de aproximadamente 300 observações. Destas 300 observações, 72% foram acima do *Takt Time* (Figura 35).

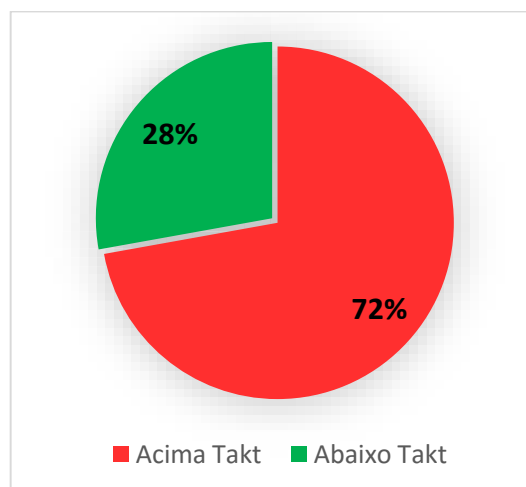


Figura 35 - Estudo variação OP600

As causas do não cumprimento do *Takt Time* da OP600 foram compiladas e podem ser observadas na figura 36. Apesar do abastecimento da OP620 ser uma causa da saturação, achou-se por bem distinguir esta parte nos resultados. Existe também uma pequena percentagem para “outros”, que são causas aleatórias e que não se conseguem prever, como paragens do próprio robot pelo mau alinhamento das paletes ou paragens dos *rippers* de movimento.

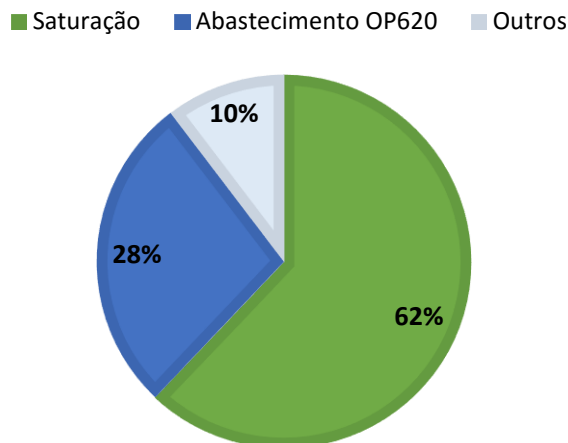


Figura 36 - Causas de variação na OP600

Todas estas observações foram recolhidas com um único propósito: fazer uma simulação destes resultados utilizando um *software* apropriado para, assim, se compreender o impacto da variação no sistema durante um turno completo devido ao posto tampão. Mas primeiro é necessário definir o perímetro e as fronteiras que esta simulação vai englobar. A simulação vai englobar os bancos de ensaio (OP545-546), a OP600 e a OP620. Portanto, de seguida o modo de funcionamento da OP620 vai ser apresentado (Figura 37). Os bancos de ensaio também vão ser representados no sistema para ver o efeito que a paragem da OP600 tem nestes, pois uma saturação da OP600 faz com que os bancos de ensaio também parem.

Na OP620 as seguintes tarefas são realizadas:

- Colocação do respiro;
- Etiquetagem;
- Aperto do CSC;
- Aperto dos pernos M8 e M10.

Também existem algumas operações não cíclicas e que estão demonstradas na figura 37:

- Abastecimento do posto (1);
- Troca de carrinhos de posto (2);
- Deslocação à OP640 quando há defeito de aperto do bujão (3).

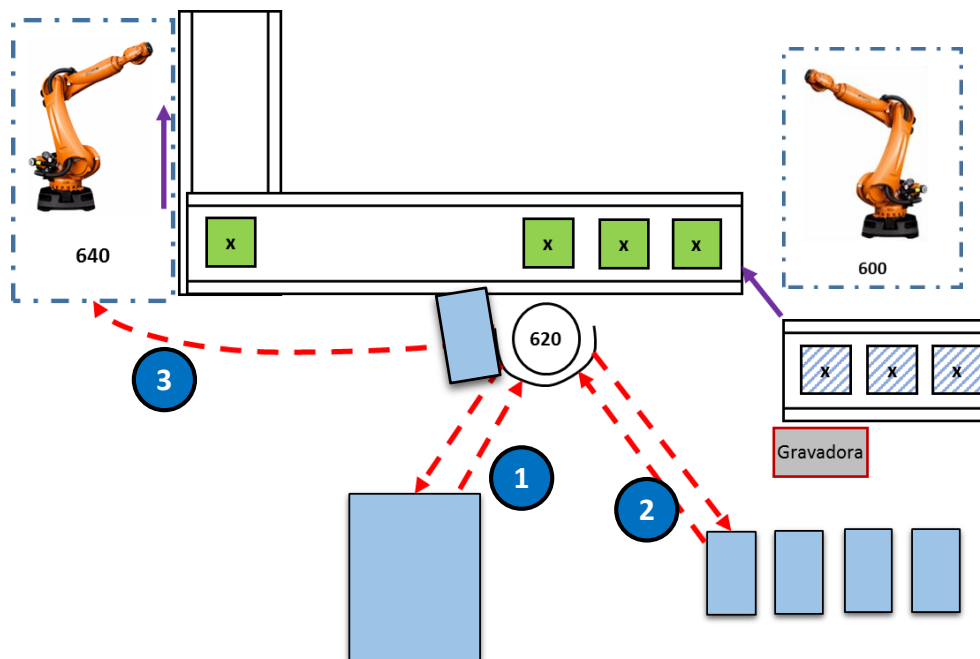


Figura 37 – Modo de funcionamento OP620

As deslocações referentes ao ponto número (1) referem-se ao abastecimento do carrinho que está no posto. Este carrinho contém as caixas com CSC, pernos M8 e M10 e parafusos M8x29. As deslocações referentes ao ponto número (2) referem-se a quando da troca de índice de caixa. Cada carrinho está adaptado para diferentes tipos de índice de caixas, incluindo JR e ND. Em relação ao número (3), por vezes a paleta rotativa não fica bem alinhada no posto e o operador da OP620 tem que se deslocar para relançar o ciclo de aperto e ajustar a paleta. Tendo em conta a autonomia das caixas e fazendo uma média de deslocações e retirando a deslocação número (3), o operador sai do posto no mínimo, 33 vezes. Contabilizando viagens de ida e volta, o operador faz 66 deslocações para questões logísticas, o que afeta o rendimento operacional. Cada deslocação destas demora cerca de 20 segundos.

Tendo em conta este cenário foi feita uma análise de Valor Acrescentado (VA) e de Não Valor Acrescentado (NVA) inicial. É muito importante definir desde o início que é valor acrescentado para a montagem e o que não é. As tarefas foram categorizadas da seguinte maneira:

Tabela 6 – Tarefas VA/NVA da OP620

VA	NVA
Montar peça (Janela ergonómica)	Deslocar com peça
	Deslocar sem peça
	Atividade logística
	Validações e controlos
	Inatividade

Os resultados desta análise são apresentados na figura 38.

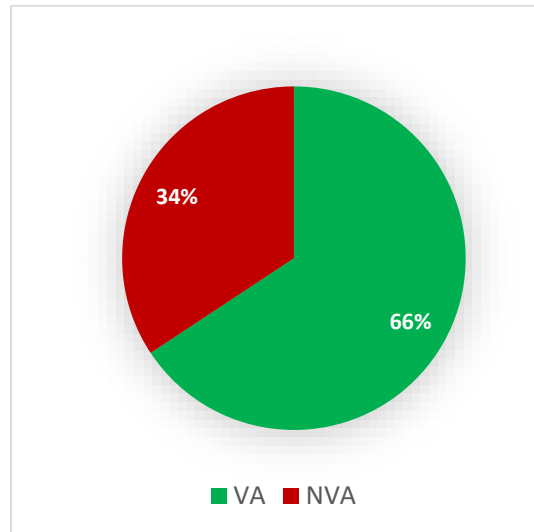


Figura 38 - Análise VA/NVA OP620

É possível verificar que este posto gera muitas atividades sem valor (34%) e por isso, têm que ser eliminadas, pois o cliente não está disposto a pagar por elas.

O objetivo passa por eliminar todas estas deslocações através do agrupamento de todas as peças numa estante base rolante e em tubos próximos do operador, otimizar o processo de montagem e aumentar o *buffer* da OP620, deslocando este posto para a frente, de forma a criar um *buffer* de 4 unidades. Uma representação da OP620 na nova localização pode ser encontrada na figura 39.

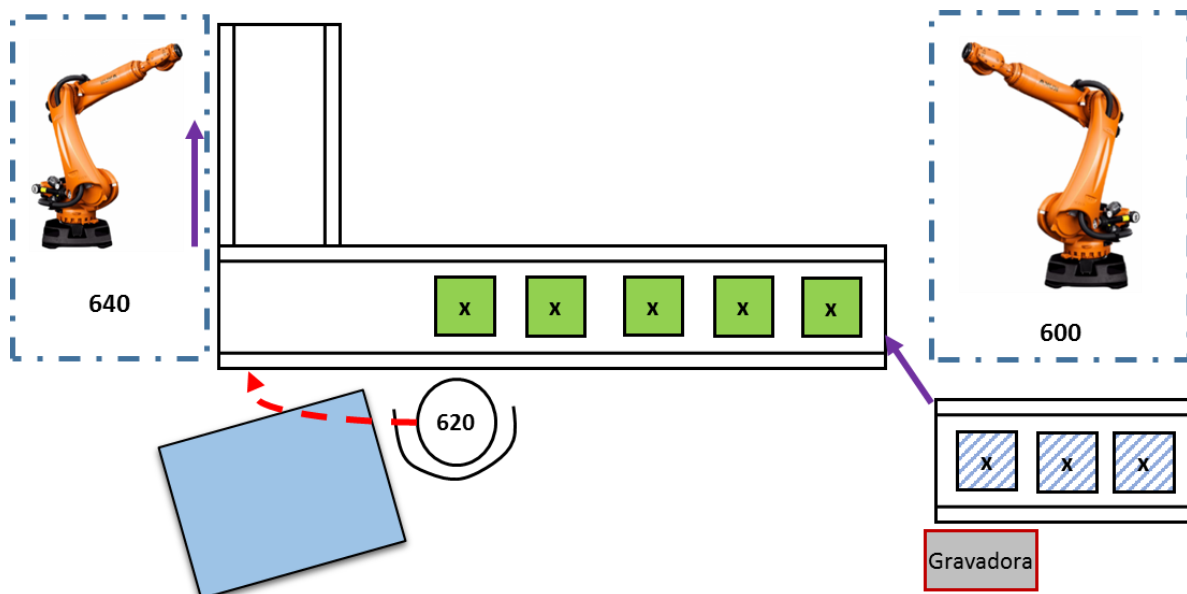


Figura 39 - Estado futuro OP620

4.3.6 Simulação OP545/OP600/OP620

Uma vez definido e delimitado as fronteiras do problema, seguir-se-á o estudo de simulação.

Neste estudo, o *software* usado foi o Rockwell Arena. O Arena tem por objetivo analisar um dado sistema real e avaliar o impacto dos cenários alternativos. Este simulador é bastante flexível e de uso fácil, devido à sua configuração de construção de modelos por blocos, sem haver a necessidade de escrever código. Tipicamente o Arena é útil nos seguintes casos:

- Análise detalhada de qualquer tipo de sistema de fabrico;
- Análise de cadeias de abastecimento que incluam o armazenamento e transporte de matérias;
- Desempenho e previsões de um sistema, tal como custos, produtividade, tempo de ciclo e taxas de utilização;
- Identificação de recursos gargalo;
- Planeamento dos recursos necessários.

Para um estudo de simulação ser bem-sucedido e para os resultados serem viáveis e credíveis, alguns passos e tarefas devem ser seguidos, por forma a aumentar credibilidade junto dos responsáveis de decisão. Esses passos são demonstrados na figura 40.

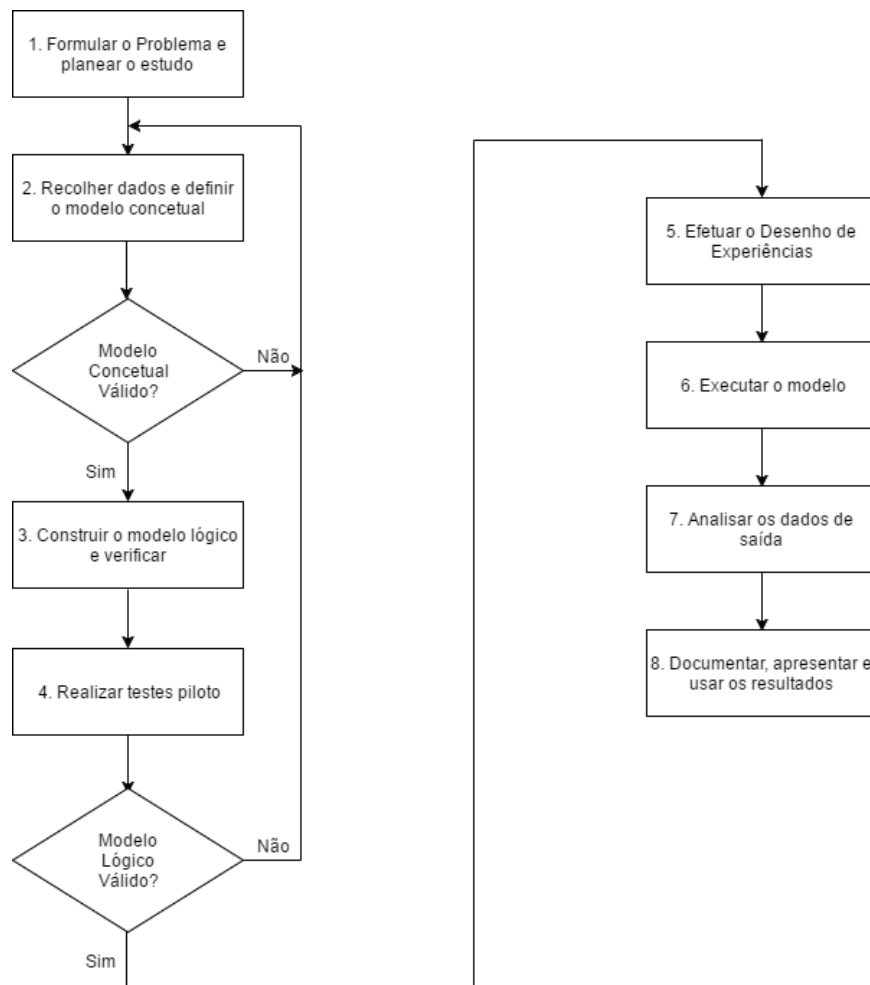


Figura 40 - Passos de um estudo de simulação (Law & Kelton, 2000; Sargent, 2013)

Para a construção do modelo, alguns pressupostos foram feitos:

- O tempo de chegada entre cada identidade, ou neste caso uma CV é de 45,5 segundos o que corresponde ao *Takt Time*;
- Tempo de turno: 7,58 horas ou aproximadamente 455 minutos. Corresponde ao tempo total de trabalho sem as pausas planeadas;
- As filas de espera da OP600 e OP620 estão limitadas a duas unidades para refletir o sistema real: Uma unidade em processamento e duas unidades em fila de espera.
- Nº de replicações: 10;
- O tempo de ciclo da OP600 é de 35.71 segundos;
- A OP620 vai tomar os valores observados da OP600, pois é o recurso gargalo e influencia o tempo normal da OP600*;
- Os abastecimentos são considerados como falhas.

*A OP620 pode assumir os valores da OP600, pois foi feita uma análise em paralelo e, na maior parte das vezes, os tempos coincidem. Conclui-se que o modo de funcionamento do posto 620 não está otimizado.

Todas as observações recolhidas serviram para alimentar o modelo. Como há um grande número de observações, a ferramenta *Input Analyzer* (figura 41) do Arena foi utilizada para formular uma distribuição que se adequasse à amostra.

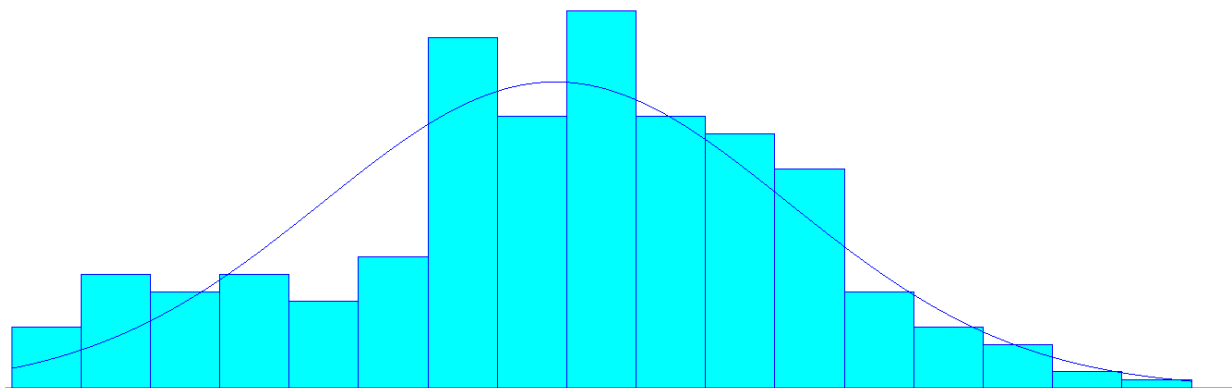


Figura 41 - Input Analyzer

Alguns indicadores de desempenho têm que ser analisados para, assim, a análise de decisão ser mais acertada e para perceber o impacto real de cada alteração num determinado processo. Deste modo, definiram-se os seguintes indicadores para a análise deste sistema:

- *Lead time*;
- Tempo na gravadora (OP600);
- Nº de unidades em fila de espera;
- Tempo em fila de espera;
- Percentagem de utilização;
- *Output*;
- *Work in Progress* (WIP).

Com bases nestes indicadores e no sistema real, o modelo foi construído de modo a haver relatórios destes indicadores e a representar da melhor maneira o sistema. O modelo pode ser visto na figura 42.

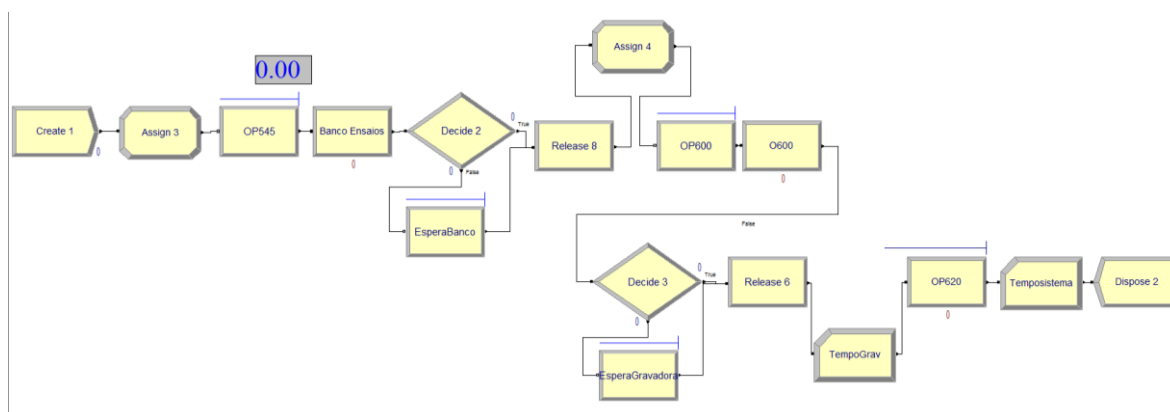


Figura 42 - Modelo Arena

Por forma a compreender que alterações podem afetar o sistema, vários cenários foram simulados, analisados e comparados.

Cenário 0 (C0)

O C0 é o estado de referência, ou seja, representa o estado atual do sistema. Todos os próximos cenários vão ser comparados com este. Todas as alterações que vão ser feitas no modelo dizem respeito à OP620.

Após a simulação, os resultados referência são:

Tabela 7 - Resultados Cenário 0

C0			
Output		574	Unidades
Lead time sistema		11.10 ± 0.9	Minutos
Tempo na gravadora		2.12 ± 0.06	Minutos
Nº entidades em fila de espera (N_Fespera)	OP545	8.14 ± 1.10	Unidades
	OP600	1.94 ± 0.08	Unidades
	OP620	1.91 ± 0.03	Unidades
Tempo em fila de espera (T_Fespera)	OP545	6.17 ± 0.82	Minutos
	OP600	1.54 ± 0.06	Minutos
	OP620	1.51 ± 0.02	Minutos
% Utilização dos recursos (%_U)	OP545	97,90%	
	OP600	97,94%	
	OP620	97,89%	
Work in Progress		14.58 ± 1.17	Unidades

De notar que os resultados acima apresentados, por questões de simplicidades, são apresentados valores médios, nunca sendo valores mínimos, máximos ou exatos. Temos então valores base para comparar com outros cenários.

Como referido anteriormente, vários aspetos vão ser simulados, como: a eliminação do abastecimento do próprio posto, o aumento do *buffer* da OP620 e a otimização do tempo de ciclo.

Em relação à otimização do tempo de ciclo, como não é possível fazer uma estimativa teórica dos tempos, um estudo na OP620 da MB03 foi feito com o objetivo de recolher informação de como se comporta este posto na outra linha do AT5. Por isso, a diferenciação no uso dos tempos vai ser definida como TMB02 ou TMB03. Esta recolha dos tempos da OP620 da MB03, vai servir como referência e como o estado a alcançar. Portanto, foi adicionado um cenário com estes tempos recolhidos, sendo este cenário o estado perfeito a alcançar em teoria.

Na tabela seguinte é possível ver as diferentes combinações entre os cenários, sendo que só o C4 irá ter os tempos da MB03.

Tabela 8 - Descrição dos cenários simulados

	Buffer	Abastecimento	Tempos
C0	2	Sim	TMB02
C1	4	Sim	TMB02
C2	2	Não	TMB02
C3	4	Não	TMB02
C4	4	Não	TMB03

Estes cenários alternativos foram criados para testar o desempenho do sistema sob vários indicadores. É normal que o C4 seja o melhor e que tenha a melhor *performance*, pois é um cenário em que tudo o que é possível foi melhorado.

i. Output

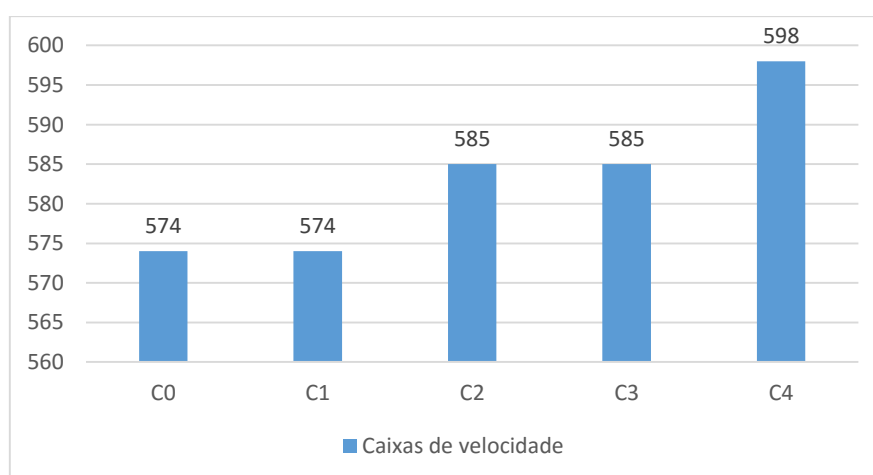


Figura 43 - Análise do Output

O *output* é claramente influenciado pela eliminação do abastecimento do posto que é feito pelo próprio operador. Este tem que parar de executar as suas tarefas enquanto abastece. Isto faz com que o posto fique inativo e, portanto, menos caixas são feitas. Com

a eliminação do abastecimento, o operador nunca sai do posto, podendo focar-se no trabalho que traz valor à empresa. O aumento do *buffer* não teve qualquer impacto neste mesmo indicador. Quando o tempo de ciclo da OP620 é otimizado, como seria de esperar, o *output* aumenta, devido à maior rapidez da execução das tarefas.

ii. *Lead time* sistema

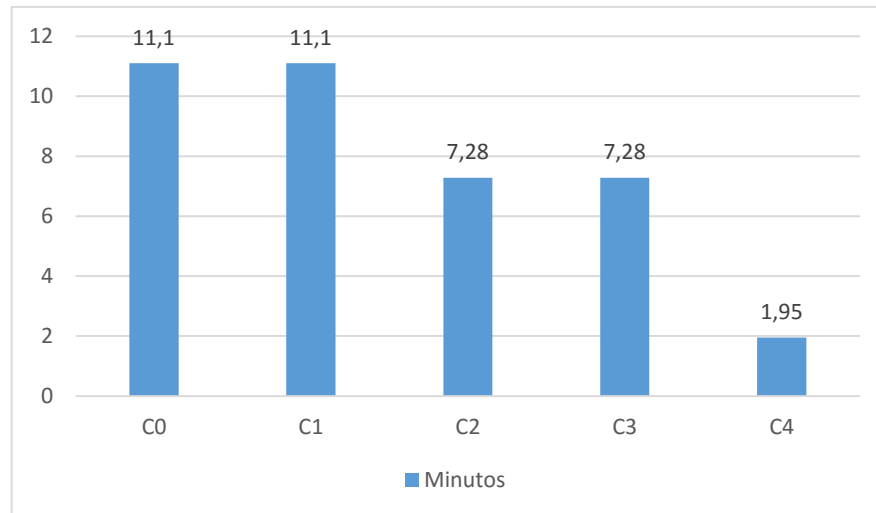


Figura 44 - Análise do *lead time*

Quanto ao *lead time*, o mesmo se passa com o *output*. O aumento do *buffer* não traz quaisquer benefícios, enquanto que a eliminação do abastecimento faz diminuir o *lead time* das entidades no sistema.

iii. Tempo na gravadora

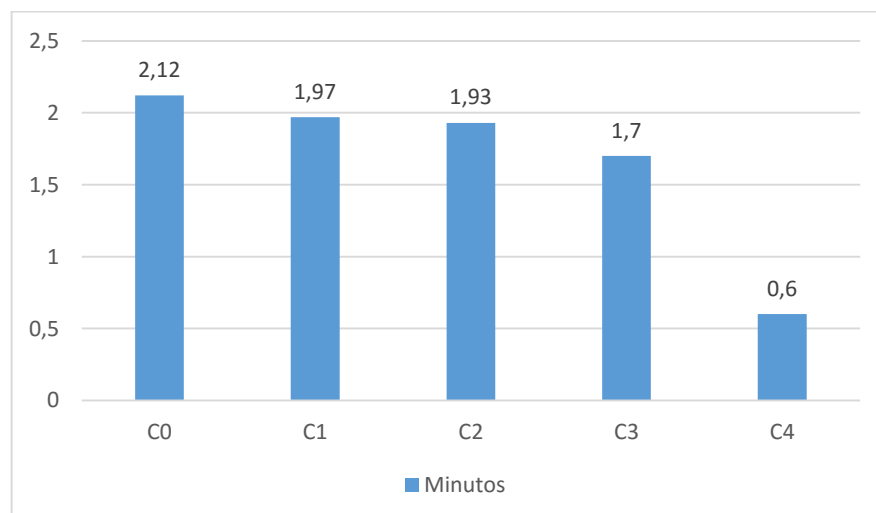


Figura 45 - Análise do tempo na gravadora

O aumento do *buffer* tem algum efeito neste indicador. Apesar da diferença não ser a esperada, este aumento a jusante consegue diminuir o tempo que uma caixa de velocidades permanece na OP600. Esta diferença é mais notória quando comparamos o C2 e C3, excluindo o C4.

iv. Número de caixas em fila de espera

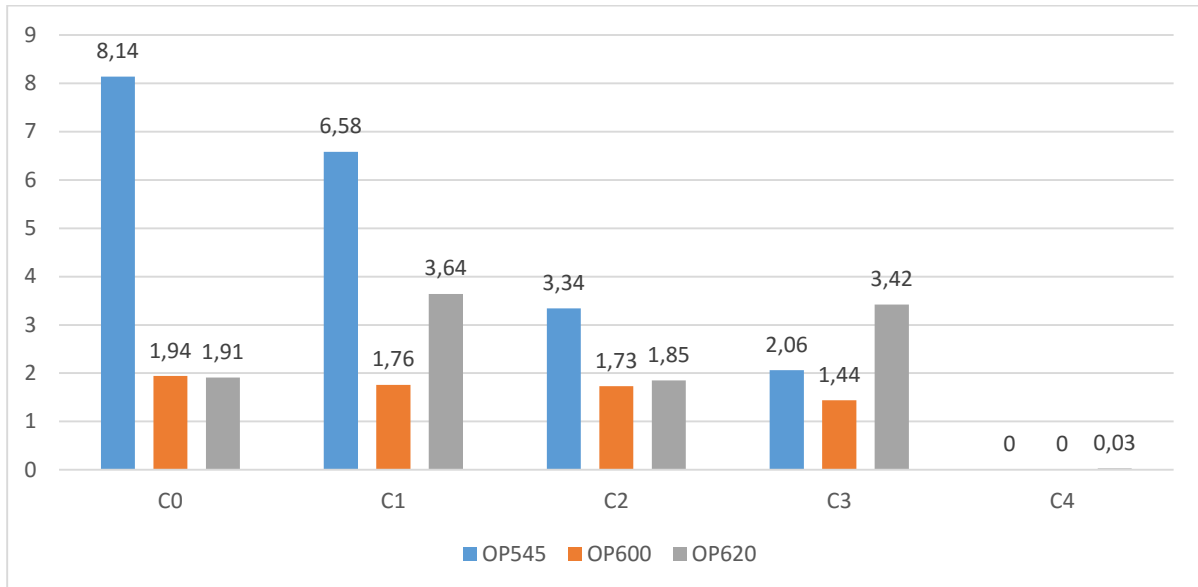


Figura 46 - Análise ao número de caixas em fila de espera

Em relação à OP545, o aumento do *buffer* da OP620, faz com que o número de caixas em fila de espera neste posto diminua, sendo esta diminuição mais significativa entre o C0 e o C1. A eliminação dos abastecimentos da OP620, também faz com que este indicador seja melhor, sendo a diferença mais significativa entre o C0 e C2. Quanto à OP600, tanto o aumento do *buffer*, como a eliminação dos abastecimentos faz com que o número de caixas em fila de espera neste posto seja menor, apesar da diferença não ser tão significativa quando comparada à OP545. Na OP620, o aumento do *buffer* faz com que haja desde logo um aumento do número de caixas em espera, pois estamos a aumentar o tamanho de fila de espera. Isto pode-se comprovar pelo gráfico. A eliminação do abastecimento da OP620 em pouco influência o número de caixas em espera.

v. Tempo em fila de espera

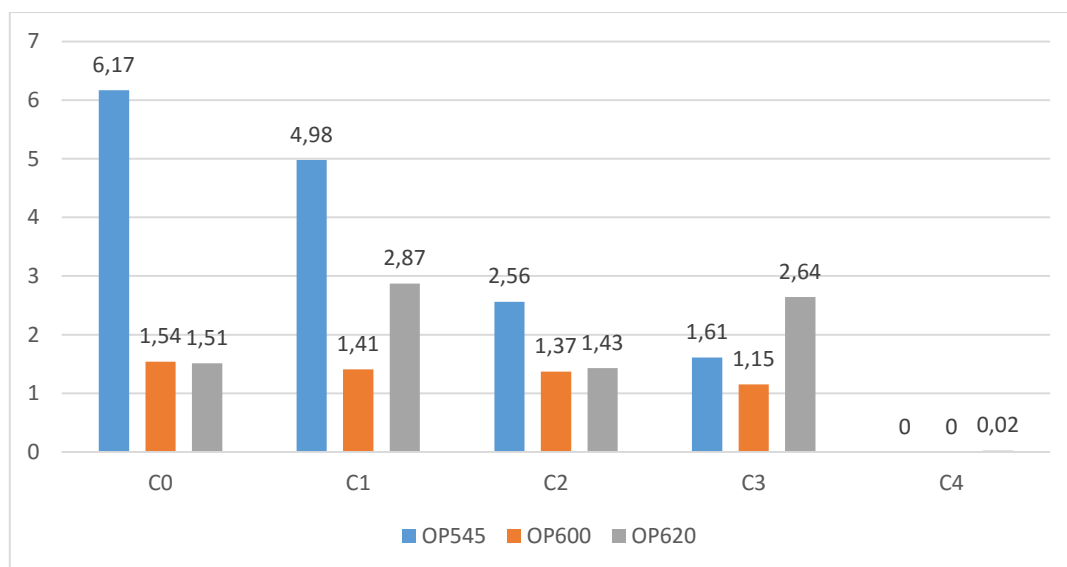


Figura 47 - Análise ao tempo em fila de espera

Como o tempo em fila de espera está relacionado com o número de caixas em fila de espera, a explicação que foi dada no ponto anterior, aplica-se também a este indicador.

vi. Percentagem de utilização dos recursos

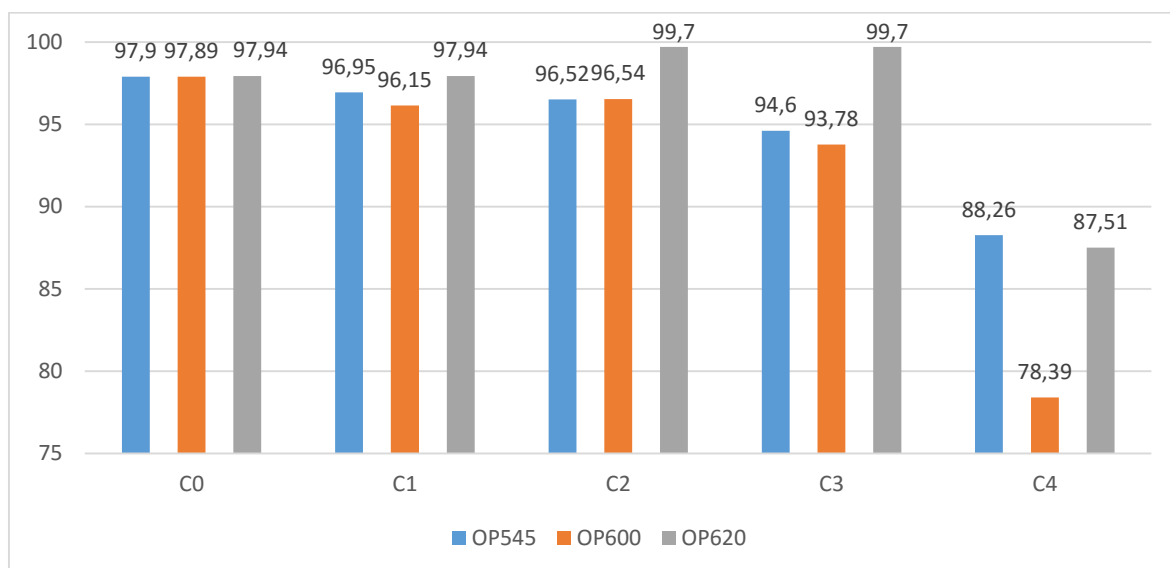


Figura 48 - Percentagem de utilização dos recursos

Por fim foi analisada a percentagem de utilização dos recursos que fazem parte da OP545, OP600 e OP620. Através da análise do gráfico pode-se concluir que a percentagem de utilização é bastante alta em todos os cenários, à exceção do C4. Isto indica que os postos estão com demasiada carga, ou simplesmente as entidades ficam tempo a mais e desnecessário em cada posto. Estas entidades ficam retidas no posto até que haja disponibilidade para o avanço das mesmas para o posto seguinte. A elevada utilização no sistema real pode ser preocupante, na medida em que na ocorrência de algum imprevisto, o sistema pode ficar em risco de não cumprir o objetivo da produção

WIP

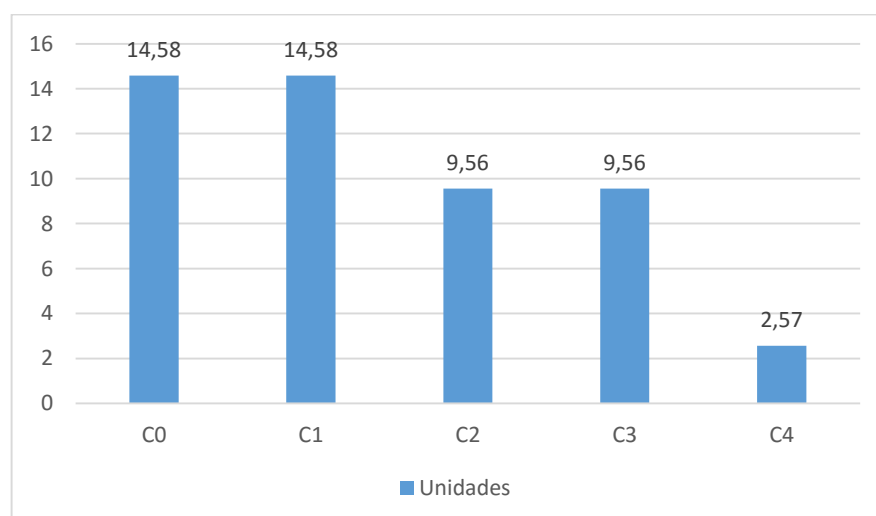


Figura 49 - Análise ao Work in Progress

Quanto ao WIP, apenas a eliminação do abastecimento afeta este indicador. O Aumento do *buffer* não causa qualquer efeito. Com a otimização do tempo de ciclo da OP620 (C4), as caixas saem mais rápidas do sistema e, por isso, o WIP reduz drasticamente.

De seguida, é apresentado um quadro resumo com os resultados dos quatros cenários simulados.

Tabela 9 - Resumo dos resultados da simulação

		C0	C1	C2	C3	C4
Output		574	574	585	585	598
Lead time sistema		11.10 ± 0.9	11.10 ± 0.9	7.28 ± 0.92	7.28 ± 0.92	1.95 ± 0.01
Tempo na gravadora		2.12 ± 0.06	1.97 ± 0.08	1.93 ± 0.14	1.70 ± 0.16	0.60 ± 0.02
N_Fespera	OP545	8.14 ± 1.10	6.58 ± 1.02	3.34 ± 1.00	2.06 ± 0.85	0
	OP600	1.94 ± 0.08	1.76 ± 0.09	1.73 ± 0.17	1.44 ± 0.20	0
	OP620	1.91 ± 0.03	3.64 ± 0.09	1.85 ± 0.08	3.42 ± 0.23	0.03
T_Fespera	OP545	6.17 ± 0.82	4.98 ± 0.77	2.56 ± 0.75	1.61 ± 0.63	0
	OP600	1.54 ± 0.06	1.41 ± 0.07	1.37 ± 0.13	1.15 ± 0.14	0
	OP620	1.51 ± 0.02	2.87 ± 0.08	1.43 ± 0.06	2.64 ± 0.18	0.02
%_U	OP545	97,90%	96,95%	96,52%	94,60%	88,26%
	OP600	97,89%	96,15%	96,54%	93,78%	78,39%
	OP620	97,94%	97,94%	99,70%	99,70%	87,51%
WIP		14.58 ± 1.17	14.58 ± 1.17	9.56 ± 1.20	9.56 ± 1.20	2.57 ± 0.2

Após a análise dos resultados da simulação, conclui-se que o cenário mais equilibrado é o C3. É o que maximiza o *output* e minimiza a percentagem de utilização dos recursos, o tempo despendido no sistema e as filas de espera. Para atingir valores como os do C4, o modo de funcionamento da OP620 tem que ser melhorado.

4.3.6.1 Implementação de Melhorias OP620

Após a obtenção e análise dos resultados da simulação deu-se início ao processo de melhoria da OP620.

Começou-se por mudar a ordem dos raques das extensões da aparafusadora. Os raques são espaços apropriados para repousar as extensões. Estes raques servem de sistema anti erro e estão ligados a um armário elétrico. Este armário alterna os binários consoante as extensões que são retiradas dos raques, sendo que cada raque está associado a um binário diferente. Por exemplo, se o operador retirar a extensão do perno M10, o armário deteta a ausência desta extensão e associa o binário apropriado à aparafusadora. Assim, torna-se impossível haver troca de binários. Os raques foram ordenados com base na ordem da execução das tarefas do posto (figura 50).

Também foram colocados dois raques para o modo degradado, ou alternativo, da OP640 no caso desta avariar. Estes dois raques estão dedicados a extensões em que dê para apertar o bujão manualmente.



Figura 50 - Disposição das ferramentas

A seguir à reordenação dos raques, a aparafusadora foi substituída por uma mais rápida, para assim o binário desejado ser atingido mais velozmente, reduzindo o tempo de ciclo. Dos três apertos necessários à execução do posto, detetou-se que o aperto do perno M8 era o mais demorado. Para agilizar o processo deste aperto, procedeu-se à colocação de um suporte com lubrificante no posto para que o operador pudesse colocar o perno M8 antes do aperto na caixa. Isto faz com que o aperto seja mais suave, rápido e fácil.

Um dos objetivos é eliminar qualquer tipo de deslocação por parte do operador. Portanto, para isto acontecer, os abastecimentos intermédios do próprio posto teriam que acabar. Decidiu-se agrupar todo o material de maior dimensão numa estante base rolante. Esta base rolante é abastecida pela logística regularmente. As peças mais pequenas foram todas colocadas em tubos para assim haver um melhor acesso por parte do operador. Todas estas peças ficam agora mais próximas da janela ergonómica do operador, facilitando todo o processo de montagem. Para além de haver a eliminação destas deslocações, houve uma redução do número de caixas e peças no posto (Figura 51). Também se ganhou uma área industrial de 5m²

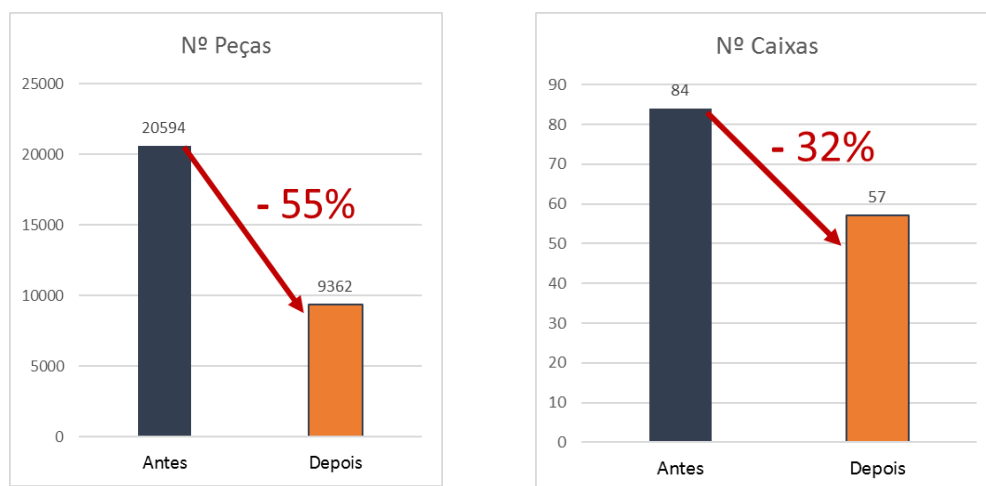


Figura 51 - Redução do número de peças e caixas

Apesar do aumento do *buffer* não ter tido qualquer impacto no estudo de simulação, a equipa de progresso contínuo decidiu à mesma aumentar o *buffer* para assim, criar um maior espaço preenchido com caixas entre a OP620 e a OP600. Este número de caixas

extra atrás da OP620 vai ser útil para alterações que vão haver a nível da montagem da caixa ND, mas que não irão ocorrer ao longo do estágio.

Uma análise à OP640 também foi feita para verificar o porquê de tantas deslocações a este posto por parte do operador da OP620. Estas deslocações devem-se ao facto do robot da OP640 dar defeito de aperto de bujão. Assim, o operador da OP620 tem que se deslocar a este posto para reiniciar o ciclo e ajeitar a paleta rotativa de modo a que o robot encaixe o bujão no sítio adequado. Após análise (figura 52) verificou-se que a paleta rotativa nº 09 era a paleta que causava mais paragens na OP640. Esta paleta teve que ser retirada para reajuste e alinhamento da mesma.

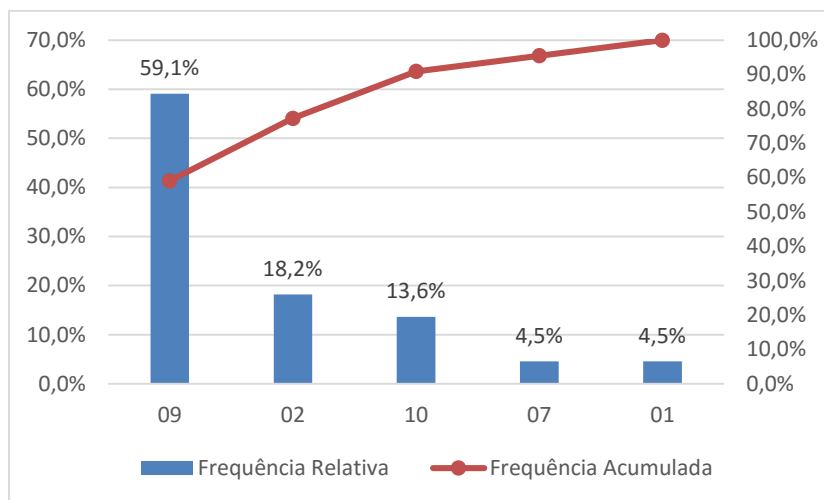


Figura 52 - Análise ao defeito de paleta rotativa

Após a reintrodução da paleta nº 09, verificou-se que os deslocamentos à OP640 diminuíram significativamente.

Para haver um termo de comparação, uma análise VA/NVA (Figura 53) foi feita após as melhorias implementadas. É possível perceber que houve uma redução significativa das atividades sem valor acrescentado. Isto deve-se sobretudo à eliminação dos deslocamentos sem peça e atividade logística do próprio operador. O NVA remanescente diz respeito a validações e controlos, sendo atividades necessárias, e portanto, que não podem ser eliminadas.

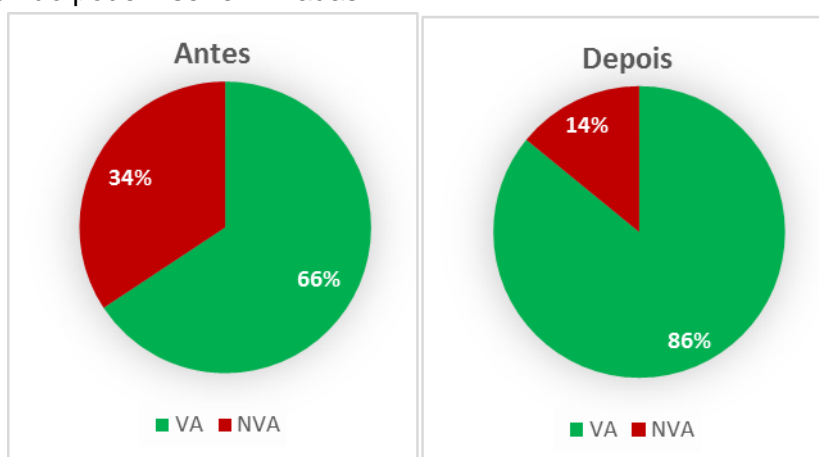


Figura 53 - Antes e depois VA/NVA OP620

Anteriormente, a OP620 era claramente o posto gargalo de todo o sistema. Com todas as melhorias implementadas, o posto foi melhorado a nível de: deslocações, ergonomia e tempo de ciclo.

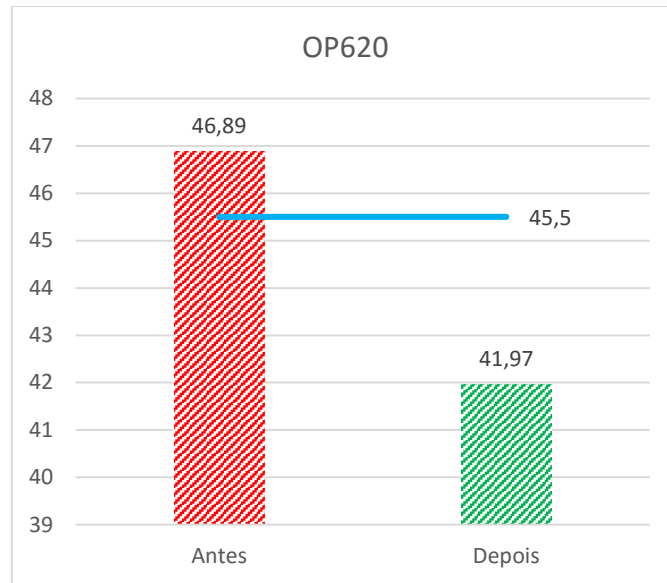


Figura 54 - Tcy OP620

Os resultados podem ser comparados na figura 54. Após a verificação dos resultados, a OP620 deixa agora de ser o posto gargalo do sistema.

4.3.7 OP650

É nesta operação em que a caixa é retirada da linha. O operador começa por colocar dois obturadores no diferencial da caixa para impedir que sujidade entre para dentro da mesma.

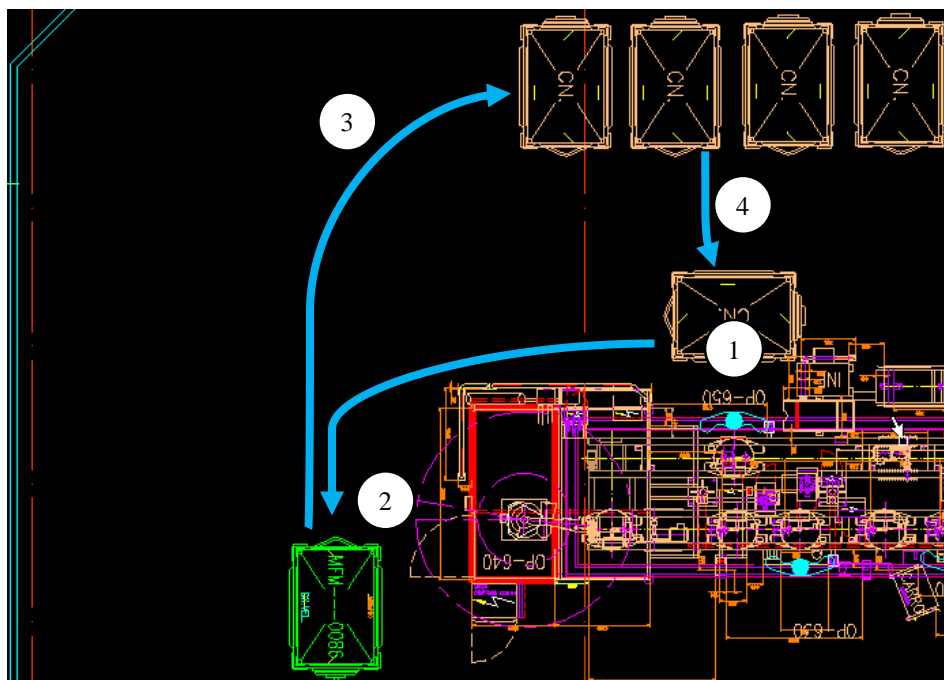


Figura 55 - Deslocações OP650

De seguida, retira a caixa da paleta rotativa, coloca-a no contentor apropriado através de um gancho elétrico (1), zipa a caixa para entrar no sistema e limpa a caixa na zona do diferencial. Após encher um contentor, o operador tem que imprimir uma gália (papel identificativo) e, é responsável por movimentar o contentor até à zona de “expedição” (2). A seguir tem que ir buscar um contentor vazio (3) e colocá-lo no seu posto para, assim, continuar o seu trabalho (4). Normalmente após 4 contentores cheios, um operador da logística vem até ao final de linha trazer mais contentores vazios e transportar os cheios até ao armazém em lotes de 4.

Como se pode comprovar pela figura 55, este é um posto extremamente exigente em termos de deslocações e movimentações de produto acabado. Em termos ergonómicos, também não é o melhor exemplo, pois cada contentor cheio de caixas JR varia entre 400 e 600 kg. Apesar do contentor estar sob uma base com rodas para facilitar o transporte, após algumas movimentações, este processo torna-se exaustivo e suscetível a ocorrer algum acidente ou originar problemas a nível de saúde. Com isto em mente, uma análise VA/NVA foi novamente efetuada com base nos critérios anteriormente definidos.

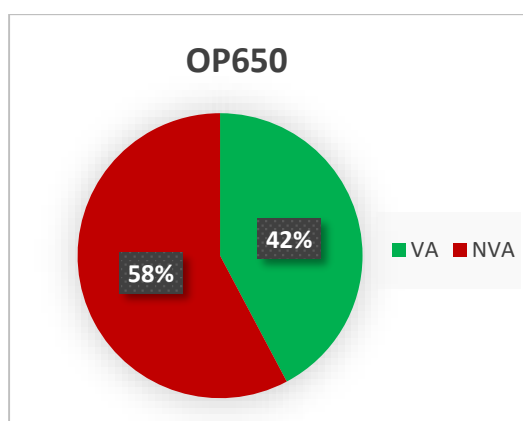


Figura 56 - Análise VA/NVA OP650

Como seria de esperar, o valor acrescentado deste posto é muito reduzido, apenas 42%. Isto deve-se maioritariamente ao elevado número de movimentações que o operador tem que fazer e ao elevado tempo que este não está no seu posto. Na tabela 10 estão os dados relativos à deslocação de um contentor com produto acabado e a posterior movimentação do contentor vazio para o posto.

Tabela 10 - Dados referentes a uma deslocação em diferentes contentores

	JRx8 (caixas)	JRx12 (caixas)
Transporte contentor cheio e vazio (metros)	35	35
Transporte contentor cheio e vazio (segundos)	40	60
Peso contentor (kg)	420	600

4.3.7.1 Implementação de um sistema AGV na OP650

A Renault Cacia tem como objetivo aumentar as tarefas de valor acrescentado e minimizar todo o tipo de deslocações desnecessárias. Isto passa pela automatização de fluxos através de ferramentas de *low-cost automation*. Nesta categoria entram os *Automated Guided Vehicles* (AGV). Tudo o que é transporte de peça necessária à produção, produto intermédio e produto acabado tem que ser automatizado recorrendo a AGVs ou a outro meio que não envolva uso de mão-de-obra, como tapetes rolantes conectando diferentes zonas. Tem como objetivo eliminar o uso de empilhadores nas áreas de produção e montagem, restringindo o uso dos mesmos apenas ao armazém logístico. Havendo esta ideologia enraizada na empresa é possível aplicar AGVs de forma mais facilitada. Após a análise VA/NVA, e tendo em conta os benefícios que os AGVs trazem, oportunidades de melhoria surgem.

Procedeu-se então à aplicação de um sistema AGV na zona de descarga para transporte o produto acabado para o armazém. O objetivo é eliminar as movimentações do operador da OP650, aumentar o VA do posto, eliminar as grandes embalagens no fim de linha e automatizar este fluxo.

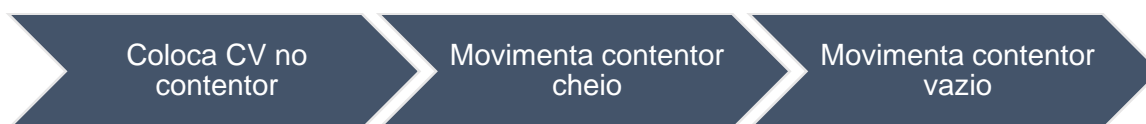


Figura 57 - Situação atual OP650

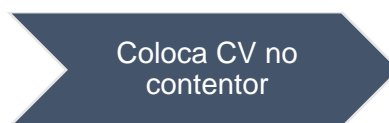


Figura 58 - Situação futura OP650

Consoante as necessidades, os AGVs têm que estar preparados para as situações em que vão ser aplicados. Para este caso, são necessários AGVs de arrasto. Assim, os contentores permanecem sempre atrelados ao AGV.

4.3.7.2 Layout AGV

A primeira coisa que se tem que definir quando se implementa um sistema é AGV é definir o *layout* do trajeto. Como esta parte não diz só respeito à fabricação, mas também à logística, o *layout* foi desenhado em conjunto. Para aspetos de simplificação e visualização, apenas a parte que diz respeito à OP650 é apresentada figura 59. Todos os outros percursos já existentes foram ignorados. O percurso foi desenhado tendo em conta o tráfego, dimensões do AGV e dos contentores, exequibilidade do transporte, a presença de obstáculos e a planta da fábrica. Todos os percursos na Renault são unidireccionais, ou seja, não há dois AGVs a circular em sentidos opostos no mesmo percurso.

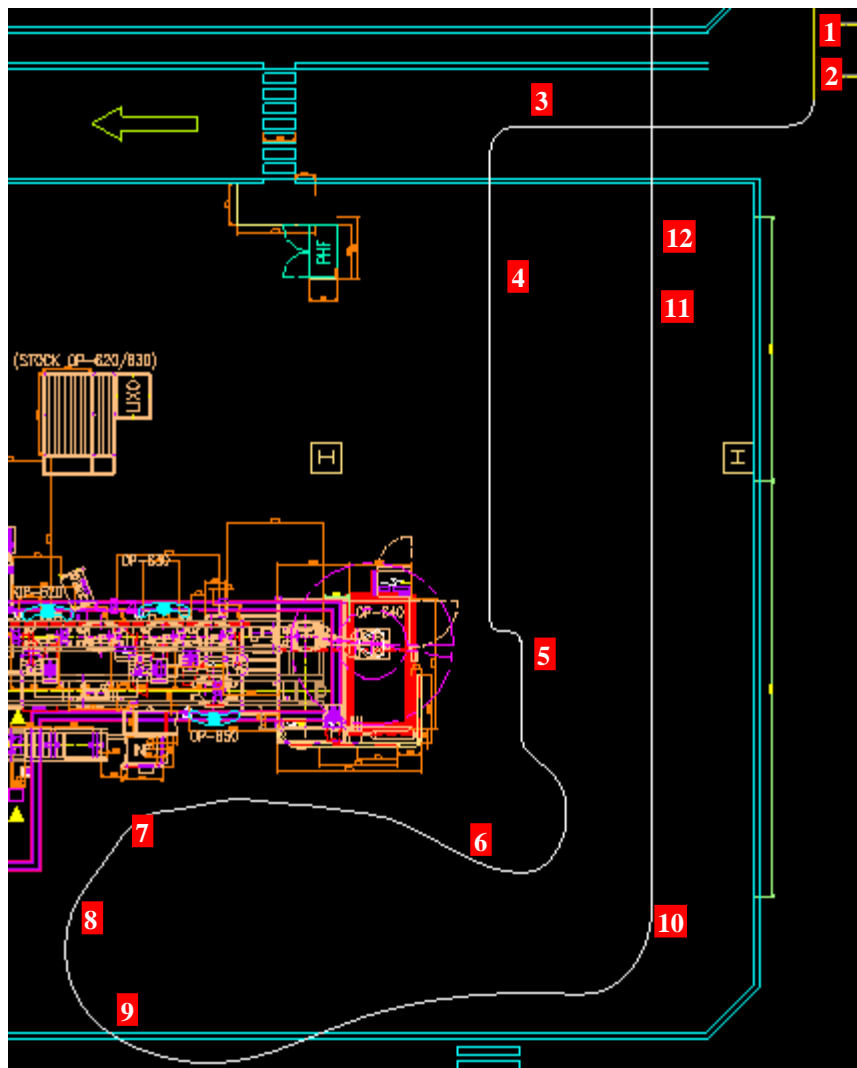


Figura 59 - Trajeto do AGV OP650

A vermelho estão representadas as *Tags* ou etiquetas eletrônicas. Estas *Tags*, são pequenos cartões RFID (*Radio-Frequency Identification*) e são usadas como um sistema de navegação para o AGV. Pode-se dizer que estas etiquetas dão ordem ao AGV para executar diversas tarefas como: parar, virar, ativar/desativar semáforos, mudar velocidade, inverter sentido e ativar/desativar radar. São embutidas no chão da fábrica, para assim ser possível a leitura por parte do AGV. Estas etiquetas são codificadas através de um sistema central, sendo que qualquer alteração é rapidamente feita e atualizada. Servem também para haver uma gestão de tráfego eficiente. Os semáforos também ajudam a controlar o tráfego e impedem que haja colisões entre AGVs. Quando um AGV passa por uma etiqueta que contém a informação de ativação de um semáforo, o semáforo fica ativo. Enquanto o semáforo estiver ativo, só esse AGV pode atravessar essa zona, sendo que os outros AGVs têm que ficar à espera até que o semáforo seja desativado. De seguida, o AGV passa por uma etiqueta com a informação de desativar o semáforo e este fica desativado. Isto quer dizer que a zona está novamente livre para a receção de outro AGV. A ordem pela qual um AGV entra numa zona livre é definida pela regra FIFO (*First In First Out*) não havendo até agora qualquer regra de *routing* aplicada na Renault.



Figura 60 - Semáforo AGV e Etiqueta RFID

Na tabela seguinte encontram-se as tarefas programadas para cada *Tag*:

Tabela 11 - Tarefas das *Tags*

Tag Nº	Tarefa
1	Ativar semáforo
2	Virar direita, reduzir velocidade e aumentar alcance do radar
3	Virar esquerda
4	Aumentar velocidade
5	Desativar semáforo e diminuir velocidade
6	Diminuir alcance do radar
7	Parar e diminuir velocidade
8	Parar
9	Parar e aumentar a velocidade
10	Aumentar velocidade
11	Reduzir velocidade
12	Parar e ativar semáforo

4.3.7.3 Cálculo nº AGV's

Após o percurso estar definido, pode-se calcular o número de AGVs necessários para que o sistema funcione de forma correta e sem percalços.

Segundo Ilic (1994) é possível estimar o número de AGVs necessários com base na distância percorrida, na velocidade média de deslocamento e nos tempos em que o AGV fica parado a carregar e a descarregar material.

Começa-se por calcular o tempo total de uma volta completa, incluindo os tempos de carregamento e descarregamento, através da equação 5. Nesta equação os efeitos da aceleração e desaceleração são ignorados

$$T^0 = \frac{\bar{d}}{v} + t + \frac{\bar{d}'}{v} \quad (5)$$

Em que,

\bar{d} = Distância percorrida com carga

v = Velocidade AGV

t = Tempo total do carregamento e descarregamento

\bar{d}' = Distância percorrida sem carga

De seguida calcula-se o número de voltas possíveis num turno incorporando um fator tráfego. Este fator é uma estimativa das perdas que possam haver na *performance* do sistema. Estas perdas englobam o bloqueio de veículos, espera em interseções, veículos em espera, etc.

$$R^0 = \frac{TD * f}{T^0} \quad (6)$$

Em que,

TD = Tempo disponível

f = Fator tráfego

Com os dados calculados anteriormente, é possível calcular o número de AGVs teoricamente.

$$N = \frac{U^0}{R^0} \quad (7)$$

Em que,

U^0 = Número de voltas necessárias

O número de voltas necessárias está diretamente ligado com o nível de produção e com a capacidade que cada AGV pode transportar. Com isto em mente, vários cenários foram calculados e os resultados podem ser vistos na tabela 12.

Tabela 12 - Teste à capacidade do AGV

	Capacidade						
	JR x8			JR x12			
	8	16	24	12	24	36	
Nº Contentores	1	2	3	1	2	3	
T^0	19,77	25,83	31,90	22,80	31,90	41,00	Minutos
R^0	21,87	16,73	13,55	18,96	13,55	10,54	Voltas
U^0	75	38	25	50	25	17	Voltas
N	3,43	2,27	1,84	2,64	1,84	1.61	Unidades

O fator tráfego toma o valor de 0,95. Como a Renault ainda está numa fase de iniciação de implementação de AGVs, o número destes ainda é reduzido. Este fator é considerado como uma margem de erro, pelo que um valor muito baixo à sobrestimação do número de AGVs em relação àquilo que realmente é necessário.

A capacidade tem que ser múltiplos de 8 no caso de JRx8 devido ao tipo de contentor. Este contentor tem capacidade para 8 CV. O mesmo acontece para JRx12, mas neste caso tem que ser múltiplos de 12. Sabe-se que à medida que a capacidade de um AGV aumenta, menos AGVs irão ser precisos. Neste caso em particular, é impossível o AGV transportar mais que 3 contentores devido à configuração da fábrica no que diz respeito às curvas. Se o número de contentores for superior a 3, em algumas curvas os contentores podem chocar uns nos outros ou até atravessar zonas que estão destinadas a peões. Isto aumentaria a probabilidade da ocorrência de acidentes.

Quando se calcula o número de AGVs, pretende-se minimizar o número ao máximo. Um grande número de AGVs pode levar a congestionamentos longos e consequentemente pode afetar o bom funcionamento da empresa. Devido ao elevado investimento que um sistema destes acarreta, não sobrestimar o número de AGVs necessários é importante.

Pela análise à tabela 12 é possível concluir que o número ótimo de AGVs é 2 para uma capacidade máxima de 3 contentores.

Para facilitar e agilizar o processo de tomada de decisão quanto ao número de AGVs, foi criada uma folha de *Excel* para o cálculo automático do número ótimo de AGVs (figura 61).

Produção	600	unidades		Teórico				Distância Total		261	metros
TCy	45,5	segundos						Velocidade Média	30,00	metro/segundo	
Turno	455	minutos		Tempo / Volta	31,90	minutos					
Capacidade AGV	24	unidades		Volts possíveis	13,55						
Nº viagens com carga	25										
Loading AGV	18,20	minutos		Nº AGV's	1,84						
Unloading AGV	5	minutos			2						
Fator Tráfego	0,95										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Distância com Carga	139										
Velocidade (m/min.)	30										
Tempo d/v (min.)	4,63										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Distância sem Carga	122										
Velocidade (m/min.)	30										
Tempo d/v (min.)	4,07										

Figura 61 - Folha de *Excel* para calcular o número ótimo de AGVs

É uma folha simples em que só é necessário introduzir os dados de forma correta. Dados como a produção desejada, capacidade do AGV, tempos de operação (carregar e descarregar AGV), distâncias e velocidades são necessárias para o bom funcionamento desta folha de *Excel*. Esta ferramenta permite testar vários cenários de forma prática e rápida. Esta folha só funciona com trajetos em que sejam circuitos fechados em que não há qualquer tipo de regra de *routing* aplicada. Na Renault Cacia todos os trajetos implementados até à data podem ser considerados circuitos fechados, ou seja, um AGV percorre sempre o mesmo trajeto.

4.3.7.4 Melhorias OP650

Após a implementação dos AGVs ganhos a níveis de VA/NVA, tempo de ciclo, ergonomia e segurança foram registados. Estes ganhos são representados de seguida.

Tabela 13 - Ganhos diários OP650 (Produção: 600JR)

	JR				
	Contentor x8		Contentor x12		
	Antes	Depois	Antes	Depois	
Manipulações de contentores	150	0	100	0	Unidades
Carga transportada	39	0	36	0	Toneladas
Distância percorrida	2,6	0	1,75	0	Kms
Tempo em movimento	50	0	50	0	Minutos

Todas as manipulações a nível de contentores foram eliminadas. Agora, o operador nunca sai do seu posto de trabalho. Para segurança, um contentor vazio foi colocado na zona para no caso de faltar o AGV, o operador não parar o seu trabalho e assim, não prejudicar a linha de montagem. Assim, só esta movimentação é que pode ser contabilizada, mas só em caso necessário. Quanto à segurança e esforços realizados, a diferença foi notável. O operador ao não transportar os contentores vazios e com produto acabado, consegue focar-se mais no trabalho que traz valor ao cliente. Com isto, deixa de transportar entre 36 a 39 toneladas de carga por turno, quando em capacidade máxima. Não deixa de ser um resultado fantástico quanto à ergonomia. Consequentemente, a distância percorrida pelo operador também é completamente eliminada. O tempo em movimento não difere entre os dois tipos de JR, pois apesar de haver um menor número de manipulações, o contentor é mais pesado e, por isso, demora mais tempo a transportá-lo até à zona de “expedição” da OP650. Tudo isto contribui para a eliminação do valor não acrescentado do posto, algo que se pretende eliminar.

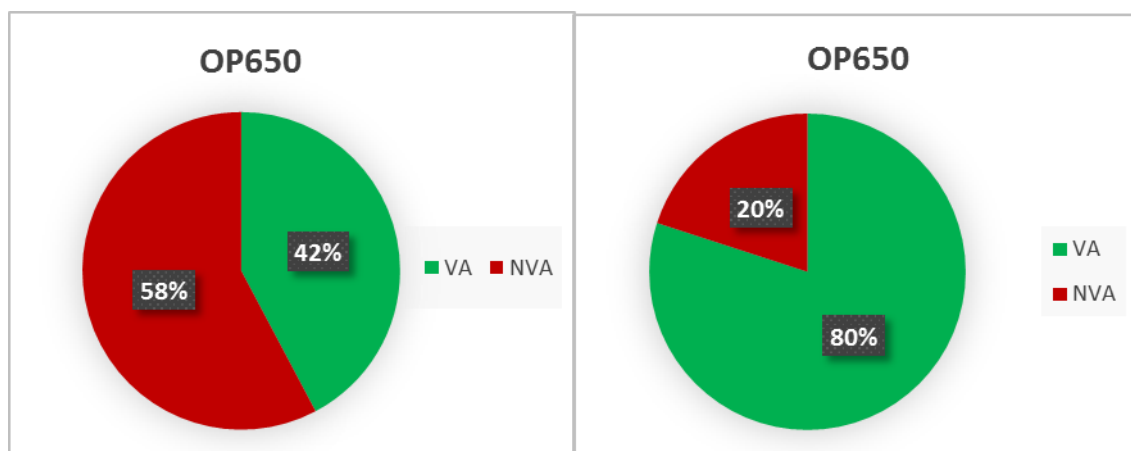


Figura 62 - Antes e depois VA/NVA OP650

Este era um posto com elevado NVA sobretudo devido ao elevando número de movimentações dos contentores e do tempo despendido fora do posto. O VA, após uma segunda análise atingiu os 80%. O restante NVA refere-se a atividades de validação, controlo e rastreabilidade, mas que são necessárias ao bom funcionamento do processo.

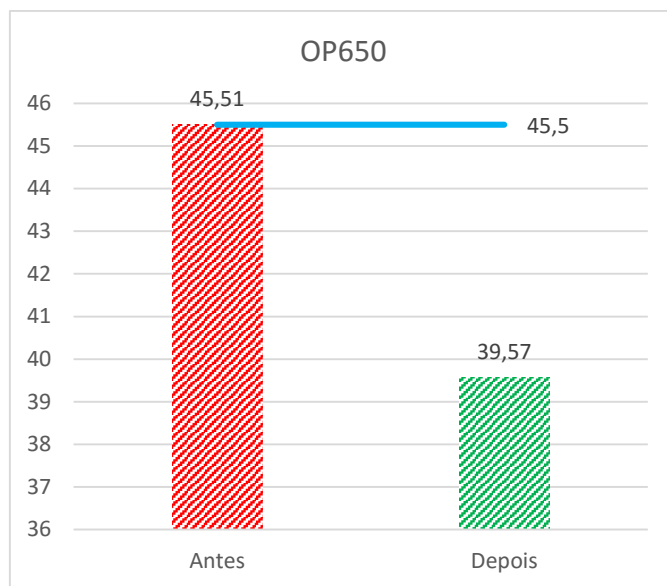


Figura 63 - Tcy OP650

Também o tempo de ciclo sofreu alterações. A amostra recolhida anteriormente envolvia os tempos de deslocação, pois estes faziam parte das funções do operador. Ou seja, a variabilidade existia no processo. Com a aplicação do sistema AGV na zona de descarga, estas deslocações foram eliminadas, e consequentemente a variabilidade. Esta fonte de variabilidade resultava num maior esforço e cansaço por parte do operador. Com a eliminação desta, o operador consegue estar melhor fisicamente para as suas funções. Deixa de percorrer elevadas distâncias e consegue estar mais focado e apto para as suas funções. Com tudo isto, o tempo de ciclo é substancialmente reduzido.

Com a implementação do AGV, também foi possível eliminar um MOD (Mão de obra direta) da logística e um meio de transporte na zona de fabricação. Isto vai de acordo com a filosofia da Renault, em automatizar todos os fluxos de material. Este MOD foi realocado exclusivamente para a zona de logística em que é feito o descarregamento dos AGVs das duas linhas. Atrelar e desatrelar os contentores também deixa de existir, pois estes estão sempre acoplados ao AGV. Como os contentores estão acoplados ao AGV, os contentores vazios na zona de fabricação também desaparecem, ganhando assim área industrial.

4.4 Análise após melhorias

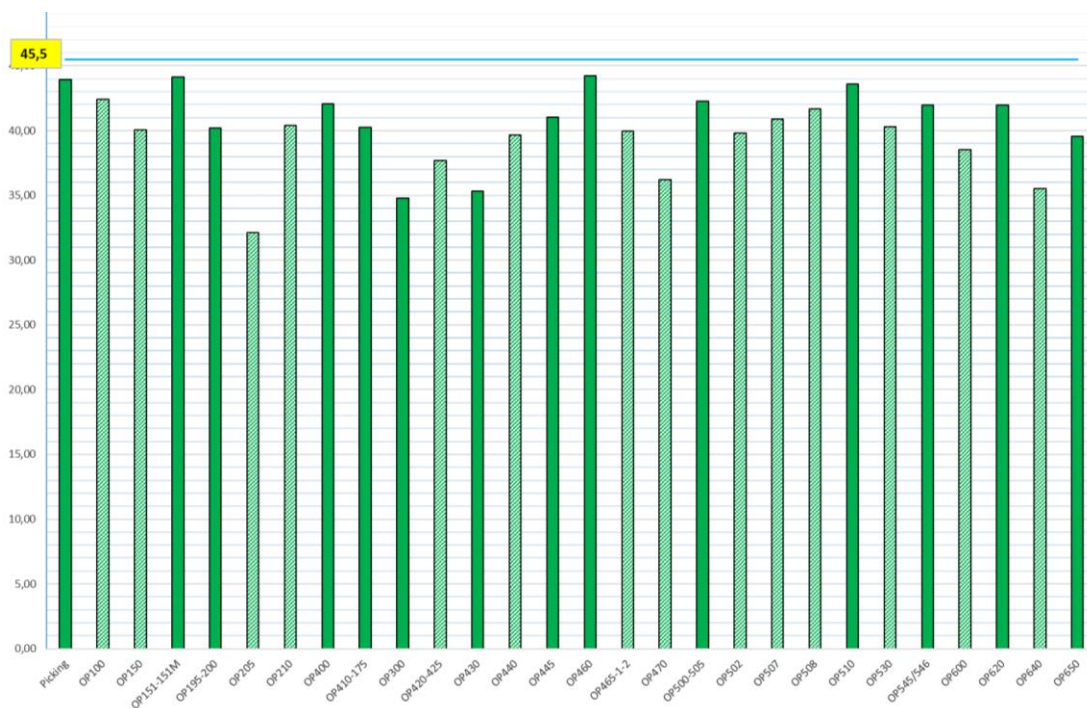


Figura 64 - Estado alcançado

Após as melhorias nos postos estudados, o gráfico fica igual à figura 64. Para uma produção de 600 caixas JR, todas as operações estão agora abaixo do *Takt Time* de 45,5 segundos. O objetivo de atingir a produção de 600 caixas foi então cumprido, revelando assim um aumento de produção na ordem dos 7%. Na tabela 14 encontram-se os resultados após as ações implementadas. Conclui-se que houve grandes melhorias relativamente aos postos que sofreram alterações, sendo a OP300 a que mais beneficiou com este estudo, tendo uma margem enorme para posteriores aumentos de produção.

Tabela 14 - Resumo das melhorias nos postos

OP	TCy (seg.)	TCy (min.)	<i>Takt Time</i>	Δ
OP150	40,07	0,67	45,50	-5,43
OP300	34,80	0,58	45,50	-10,70
OP508	41,65	0,69	45,50	-3,85
OP530	40,30	0,67	45,50	-5,20
OP620	41,97	0,70	45,50	-3,53
OP650	39,57	0,66	45,50	-5,93

Agora o recurso gargalo é a OP460 com o tempo de ciclo de 44,24 segundos, o que equivale a uma capacidade de produção de aproximadamente 617 caixas no turno estipulado. Para aumentos futuros de produção, o *picking*, a OP151-151M, OP460, e OP510 deverão ser as primeiras a ser estudadas e melhoradas.

Para além das operações terem sofrido melhorias no tempo de ciclo, o valor não acrescentado das operações manuais foi reduzido significativamente como foi comprovado anteriormente.

Um dos critérios para a OP600 não parar era a presença contínua de paletes rotativas. Após este *upgrade* na OP650, este critério consegue ser sempre satisfeito pois não há a interrupção do fluxo na OP650, pois o operador está sempre no seu posto e não pára a linha para movimentar contentores. Relembrar que esta situação ocorria quando havia caixas JR com 1 perno para serem produzidas. Uma segunda amostra foi retirada para verificar se de fato esta variabilidade desapareceu.

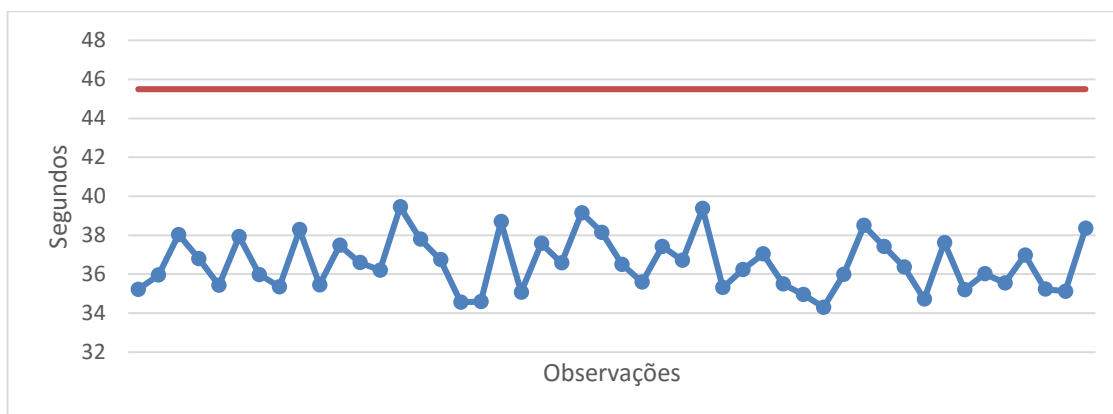


Figura 65 - OP600 com 1 Perno após melhorias

Como se pode ver na figura 65, o tempo de ciclo de OP600 é mais ou menos constante e a variabilidade de 8 em 8 caixas desapareceu. Isto é devido ao fluxo contínuo de paletes, que há no circuito da zona de descarga, fazendo com que a OP600 não pare devido a este critério.

Após as melhorias na zona de descarga, uma outra análise foi feita à OP600 aquando da produção de caixas com 2 pernos. As melhorias são substanciais na medida em que quase todos os tempos estão abaixo do *Takt time*. Apesar da variação registada, esta não afeta tão significativamente a *performance* da linha de montagem.

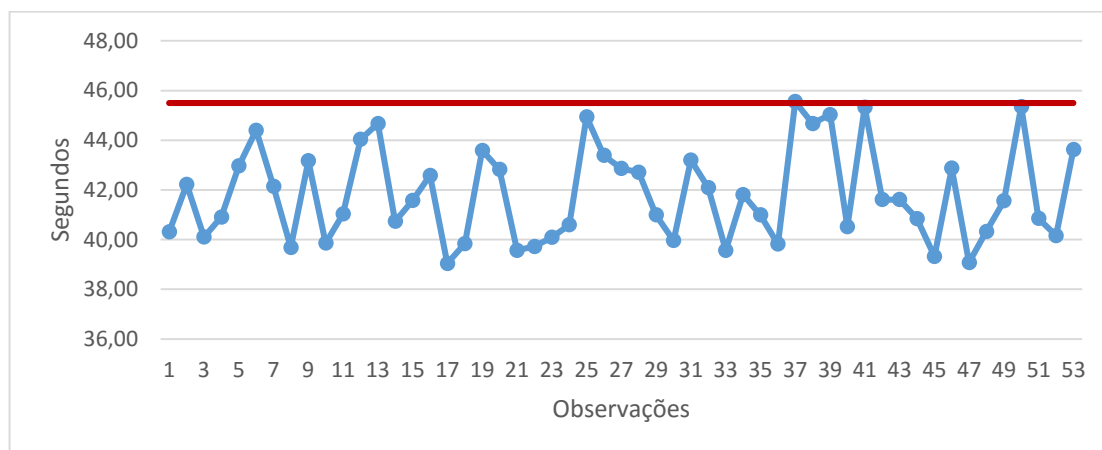


Figura 66 - OP600 com 2 Pernos após melhorias

4.5 Outros projetos

4.5.1 Zona 400 – Abastecimento OP210, OP410-415

Durante o estágio também foi possível participar noutros projetos. Estes contribuem também para a otimização do processo e melhoria do fluxo produtivo. O projeto “Zona 400” no início do estágio ainda era só uma ideia à espera que as condições para a realização do mesmo fossem disponíveis, neste caso um espaço livre para se poder iniciar o projeto. Infelizmente, este projeto só vai ser implementado na paragem da fábrica devido à elevada complexidade envolvida. No entanto, todo um estudo tem que ser efetuado para o sucesso do mesmo. Apesar de ser uma zona comum aos dois tipos de caixa, os dados estudados foram referentes à caixa do tipo ND, embora no final melhorias vão surgir para os dois tipos de caixa. De seguida, as razões para a execução do mesmo e o estudo até à data vão ser apresentados. A zona 400 fica localizada atrás da linha principal da MB02. É uma zona de abastecimento à OP175, OP210, OP410 em JR e OP415 em ND.

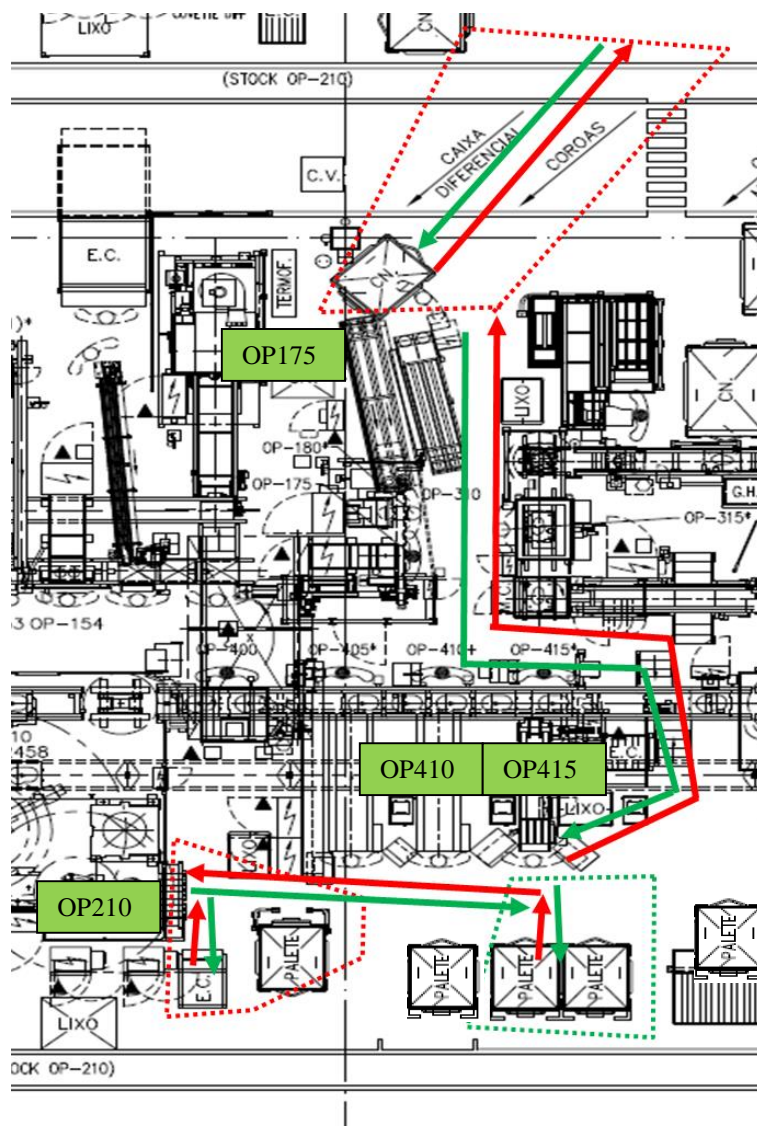


Figura 67 - Deslocações Zona 400

Existe um operador responsável por abastecer os postos acima mencionados durante um turno completo, sem qualquer ordem definida e com elevada frequência devido à baixa autonomia de cada posto. A partir do diagrama de *Spaghetti* (Figura 67) é possível mapear os deslocamentos do operador. Na seguinte matriz são apresentadas as distâncias entre os postos, em metros.

Tabela 15 - Matriz de distâncias

	OP175	OP210	OP415
OP175	-	21.9	16.6
OP210	21.9	-	5.6
OP415	16.6	5.6	-

Em situações normais o operador tem que se deslocar à OP410, no mínimo, 40 vezes durante um turno, assumindo que cada vez que vai ao posto abastece-o completamente, tendo esta capacidade para suportar 15 paletes. Em relação à ND, o operador tem que se deslocar 38 vezes às OP415, tendo esta a mesma capacidade de 15 paletes, dando uma autonomia de aproximadamente 11 minutos. Os abastecimentos destes dois postos são feitos através de pequenos *kits* que contêm várias peças. A autonomia da OP210 é de 35 minutos, enquanto que a da OP175 é de aproximadamente 30 minutos. Apesar desta situação, o operador não espera que o número de peças chegue a um determinado patamar. Sempre que abastece um posto, segue para o próximo e por aí adiante.

4.5.1.1 Análise VA/NVA Zona 400

Mais uma vez, uma análise VA/NVA foi feita ao operador responsável pelo abastecimento dos 3 postos para se poder ter uma perceção do valor acrescentado por este operador ao processo. Para isso as seguintes atividades foram definidas de acordo com o seu valor acrescentado ou não acrescentado:

Tabela 16 - Tarefas VA/NVA Zona 400

VA	NVA
Abastecimento OP175	Manipulação paletes vazias (<i>kit</i>)
Abastecimento OP210	Deslocamentos
Abastecimento OP415	Validações, controlos e zipagem
	Manipulação de embalagens/contentores
	Abrir caixas de cartão/plástico
	Inatividade

O resultado desta análise pode ser encontrado na figura 68. O total de VA totaliza apenas 44% do total das atividades, o que representa um valor muito baixo para uma operação. Os três grandes blocos responsáveis pelo NVA são: manipulação de

contentores/embalagens (cheios e vazios), deslocamentos entre os diversos postos e abrir caixas de cartão/plástico. O primeiro deve-se à baixa capacidade de elementos que cada caixa suporta, entre 6 peças a 8, e por isso, existe uma grande manipulação de caixas cheias e vazias no contentor. O segundo, como já foi possível perceber no diagrama de *Spaghetti* (Figura 67), deve-se ao grande número de postos a serem abastecidos e à distância entre eles. O terceiro deve-se à manipulação de paletes (*kit*). Estas são situadas num tapete rolante que segue até à linha. Quando o operador da OP410 ou OP415 (consoante o tipo de caixa a ser produzir), consome da paleta, esta segue vazia até ao ponto de abastecimento. Como existe uma autonomia baixa, o NVA é alto.

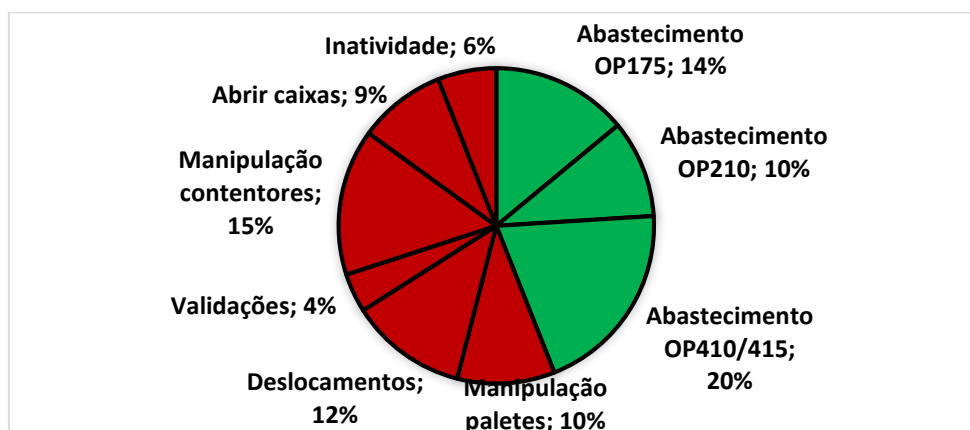


Figura 68 - Análise VA/NVA Zona 400

Conclui-se que existem muitas áreas do NVA que podem ser trabalhadas e reduzidas. É importante referir que a zona atrás da OP210, OP410 e OP415, é uma zona com um elevado número de contentores devido à elevada diversidade de peças que são necessárias aos postos. As grandes embalagens ocupam uma área de aproximadamente 30m². Estas embalagens são transportadas por *charlatte* e apresentam uma autonomia de 4 horas.

Uma vez que durante a análise VA/NVA verificou-se que a OP415 era o posto visitado mais frequentemente, foi efetuada uma análise do número de peças que o operador abastecia em cada visita. As restantes podem ser encontradas no anexo B.

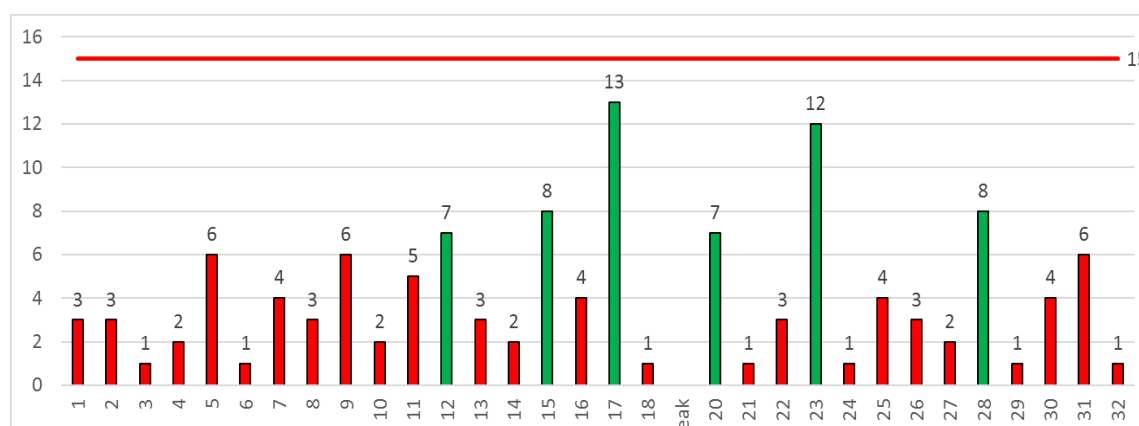


Figura 69 - Número de paletes abastecidas

A figura 69 representa uma amostra de 2 horas e representa o mais grave dos casos analisados. Todos os abastecimentos abaixo de 7 unidades foram considerados desperdício. É possível ver que em apenas 2 horas, o operador foi ao posto 32 vezes enquanto que o estimado seria 38 vezes em 8 horas. E das 32 deslocações ao posto, apenas 6 foram consideradas valor acrescentado. Muitas das vezes o operador vai à OP415 abastecer entre 1 a 4 peças. Isto gera um desperdício enorme em termos de deslocações, o que confirma a análise VA/NVA feita anteriormente. O operador está, portanto, a fazer deslocações desnecessárias a este posto.

Paralelamente, também foi efetuada uma análise de abastecimento à OP210. Esta teve que ser estimada com base no tempo de ciclo da OP210, pois a forma de abastecimento é diferente da OP415 e torna-se difícil contabilizar o número de peças abastecidas. Mais análises poderão ser encontradas no anexo C.

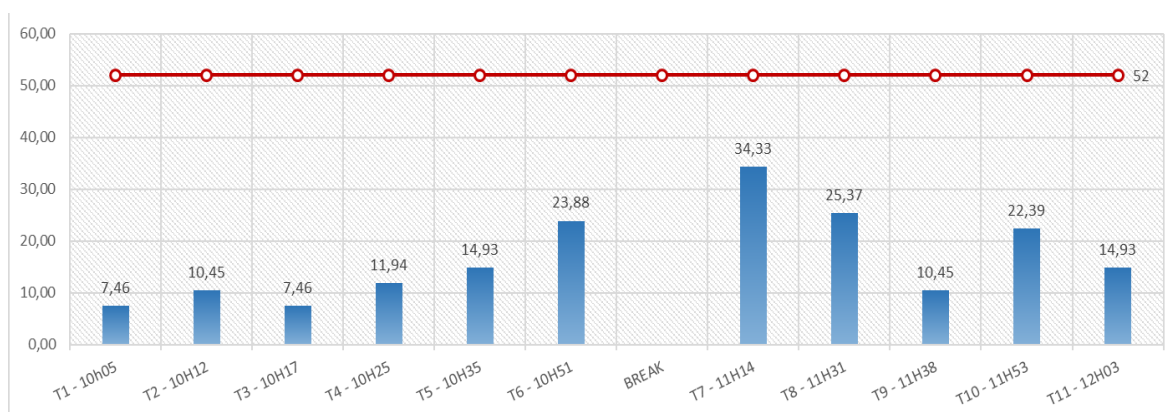


Figura 70 - Número de peças abastecidas OP210

É possível também analisar que mais uma vez, o operador deslocou-se à OP210 demasiadas vezes num curto espaço de tempo. Apesar de serem umas estimativas, o valor pode-se aproximar da realidade, pois cada vez que o operador vai abastecer, coloca o máximo número de peças até chegar a capacidade máxima. Em apenas 2 horas, o operador abasteceu 11 vezes a OP210, enquanto que poderia abastecer apenas 4 vezes como demonstrado na figura 71.

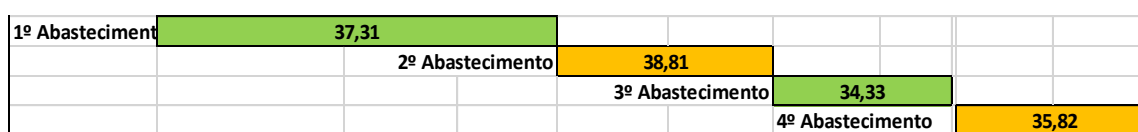


Figura 71 - Possibilidade de abastecimento OP210

A figura 71 representa uma pequena simulação baseada no número de peças abastecidas pelo operador no mesmo espaço de tempo. Coincide razoavelmente com a autonomia do posto, que é de 35 minutos.

4.5.1.2 Desenvolvimento do projeto Zona 400

Este projeto tem como objetivo eliminar deslocamentos por parte do operador, reduzir manipulação de embalagens e contentores, eliminar manipulações da paleta e

eliminar as grandes embalagens na linha, com a criação de um pólo de preparações de paletes (*kit*) fora da linha de montagem.

É importante perceber primeiro o que é um *kit*. Um *kit* é um conjunto de peças numa paleta, estantes móveis ou outros dispositivos de armazenamento em que é possível agrupar diversas peças. Isto permite ao operador de montagem ter todas as peças que necessita a seu lado, prontas a serem consumidas, em vez de tê-las dispersas pelo posto ou até mesmo fora dele, eliminando assim, as deslocações desnecessárias que não trazem nenhum valor acrescentado.

Estes *kits* permitem diversos ganhos ao nível de:

- **Valor Acrescentado:** todas as peças estão próximas do operador, minimizando os movimentos e deslocações. Assim, o operador está dedicado ao que traz valor acrescentado ao produto, neste caso a montagem da caixa de velocidades
- **Produtividade logística:** agrupando zonas de preparações e armazéns, formando fluxos mais simples e curtos
- **Qualidade:** o risco de troca de peças é minimizado e é transferido para o operador das preparações.
- **Ergonomia:** o operador tem agora todos os componentes dispostos a uma altura e distância favoráveis a uma melhor postura
- **Compactação da linha:** com a utilização de um *kit*, o número de peças no bordo de linha é inferior, possibilitando a redução do tamanho de linha
- **Segurança:** com a implementação de *kits* através de abastecimentos automáticos, o uso de empilhadores e *charlattes* podem ser reduzidos, minimizando o risco de ocorrência de acidentes de trabalho.

Como dito anteriormente, este *kit* vai ser preparado num pólo de preparações fora da linha de montagem. Pretende-se automatizar este fluxo de abastecimento recorrendo a AGVs de forma sincronizada com a linha de montagem, eliminando o abastecimento por *charlatte*. Este projeto vai de encontro, mais uma vez, com a ideologia da Renault, de automatizar todos os fluxos de material. Este projeto é dividido em 2 fases: a primeira fase vai envolver só o abastecimento automático da OP410 (JR) e OP415 (ND) e na segunda fase vai ser feito o abastecimento para a OP175. De seguida é explicado o modo de funcionamento.

4.5.1.3 Modo de funcionamento

Na figura 72 estão representados os fluxos deste projeto. A vermelho são os fluxos relativos a meios de transporte logísticos como a *charlatte* e empilhador. A verde está representado o fluxo por meio de AGV. No círculo com o número 1 é onde vai ser localizado o pólo de preparações. Representado no círculo com o número 2 está a zona 400, onde a OP410 e OP415 vão ser abastecidas, consoante o tipo de caixa a ser produzida.

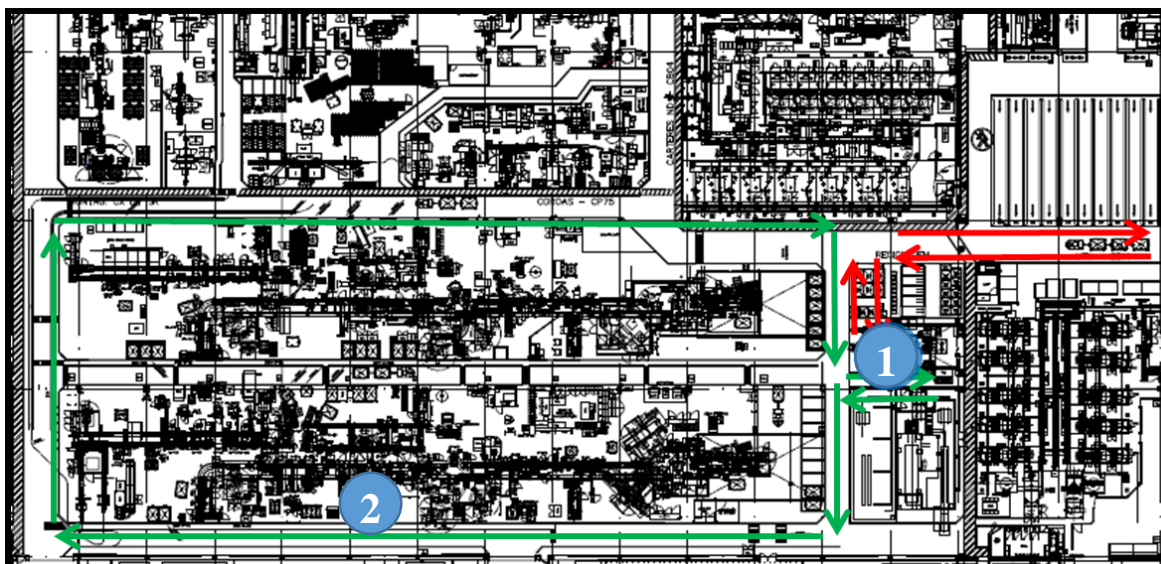


Figura 72 - Fluxo atual Zona 400

Após a chegada do AGV ao pólo de preparações com *kits* (paletes) vazios, o operador abastece as 24 paletes de acordo com o que estiver a ser produzido (JR ou ND). Isto garante a sincronização total com a linha de montagem pois as peças que necessitam de ser transportadas para JR e ND são diferentes. Após a validação das 24 paletes cheias por parte do operador, o AGV segue em direção à Zona 400. Não é possível ter mais do que 24 paletes no AGV devido às dimensões do mesmo, sendo esta a capacidade máxima.

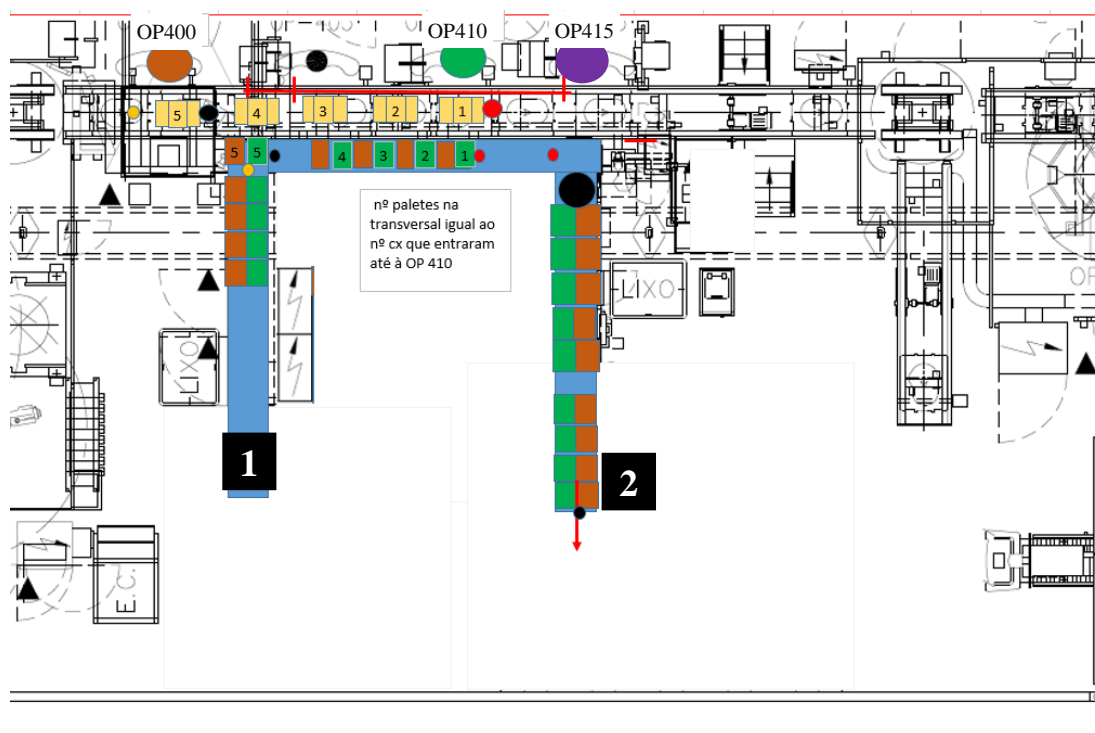


Figura 73 - Modo de abastecimento futuro Zona 400

Antes de seguir em direção ao transportador, o AGV fica em espera numa zona apropriada até que haja espaço livre no transportador para poder deixar as paletes (12+12). O AGV avança então para a descarga de 12 paletes no transportador número 1, como

demonstrado na figura 73. Após isto, o AGV avança para o transportador número 2 para o carregamento de 12 paletes vazias. Quando o AGV tem estas 12 paletes vazias, este avança novamente para o transportador número 1 e descarrega mais 12 paletes cheias. De seguida, recolhe mais 12 paletes vazias. Finalmente, quando o AGV tiver 24 paletes vazias, este retorna até ao pólo de preparações para iniciar mais um ciclo.

Apesar da produção dos dois tipos de caixa não ser ao mesmo tempo, é preciso ter em atenção em que posto que cada *kit* tem que parar. Este tem que estar sincronizado com a linha de montagem e avançar sempre ao mesmo tempo que a caixa de velocidades avance na linha. Aquando da produção da JR, a paleta *kit* tem que parar obrigatoriamente na OP410 para ser consumida. Após ser consumida, esta paleta avança. No caso da ND, a paleta *kit* deve parar obrigatoriamente na OP415 e não na OP410. Após ser consumida, desloca-se para o transportador número 2 para ser recolhida pelo AGV.

4.5.1.4 Elaboração da paleta *kit*

Um dos desafios era elaborar uma paleta que fosse flexível o suficiente para suportar vários tipos de peças e geometria diferentes sem alterar a sua estrutura cada vez que houvesse mudança do tipo de caixa ou até trocar de paleta. Tanto para JR como para ND, vão ser agrupadas 5 peças diferentes.

Procedeu-se então, ao desenho de uma paleta em 3D com recurso ao *software* Solidworks tendo em conta todas as necessidades e especificações para poder ser transportada pelo AGV e conseguir entrar e sair dos transportadores sem haver danos na própria paleta e nas peças que nela são transportadas. O plano desta peça pode ser encontrado no anexo D.

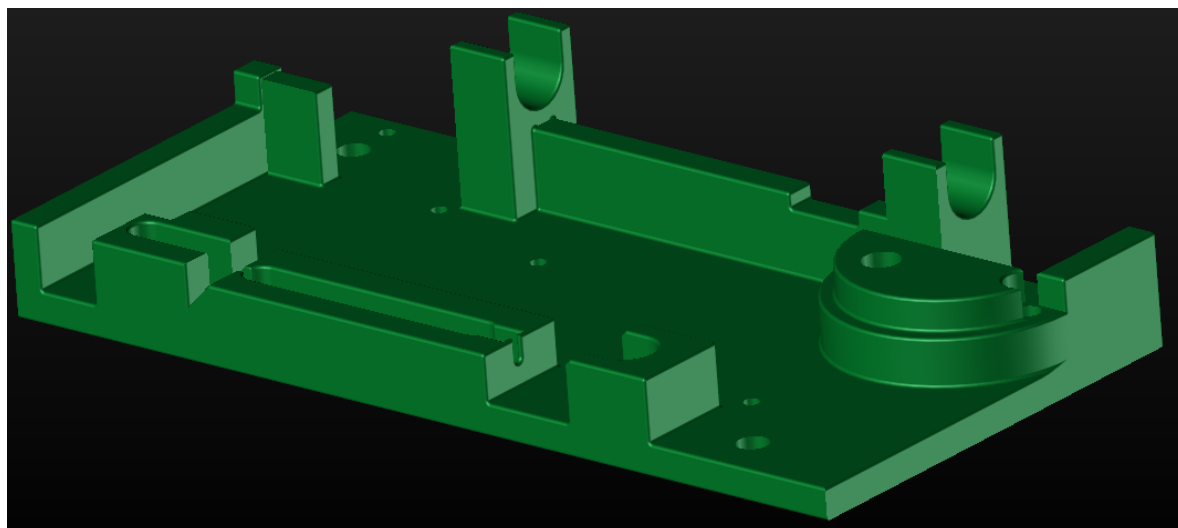


Figura 74 - Protótipo 3D da nova paleta *kit*

A seguir ao desenho, procedeu-se à prototipagem da paleta para averiguar se todas as peças cabiam na paleta de forma correta e de forma a não haver choques entre estas. É importante não haver choques, pois muitos dos defeitos de qualidade surgem devido a choques.

Após colocação das peças, algumas alterações tiveram que ser feitas no protótipo inicial. A paleta *kit* com os componentes da JR e ND pode ser encontrada na figura 75.

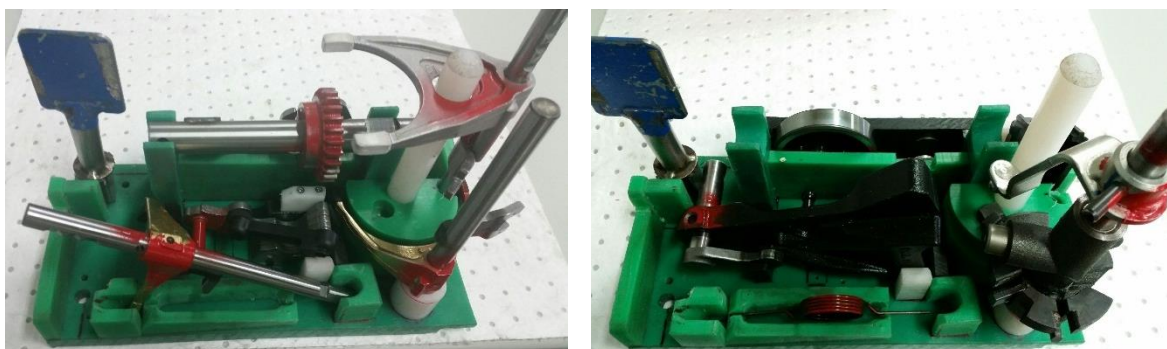


Figura 75 - Protótipo paleta kit

É importante realçar que a paleta é a mesma para os dois tipos de caixa, mudando assim só as peças que são introduzidas. O operador no pólo de preparações tem sempre informação de quando a ordem de produção é modificada, para assim proceder à introdução das peças corretas.

4.5.1.5 Layout pólo de preparações

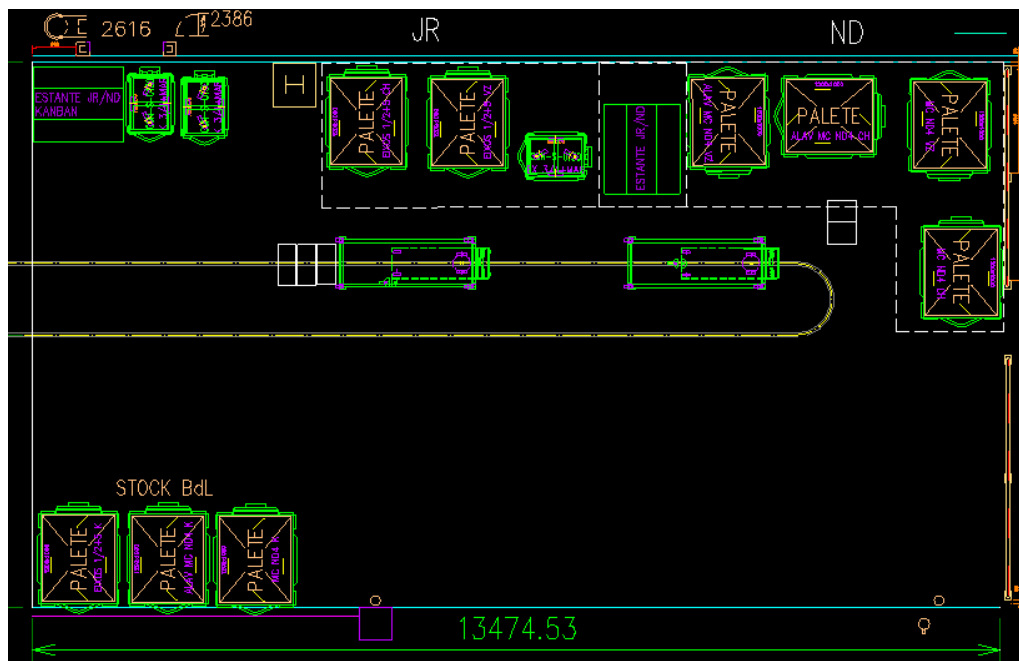
Com o protótipo da paleta executado, o *layout* do pólo de preparações tem que ser definido. Todos os contentores e bases rolantes têm que ser colocados de forma a otimizar o espaço, diminuir os movimentos por parte do operador e pela ordem correta de *picking*. A listagem das peças que constituem o *kit* são apresentadas na tabela 16, bem como a sua ordem de *picking*.

Tabela 17 - Listagem de peças do kit

Ordem <i>picking</i>	JR	ND
1	Eixo $\frac{1}{2}$	Cuvete
2	Eixo 5 ^a	Arret Gaine
3	Eixo $\frac{3}{4}$	Mola
4	Eixo Marcha atrás	Alavanca comando
5	Massa pendular	Módulo comando

Peças como a massa pendular, cuvete, *Arret gaine* e mola vão estar numa estante de base móvel para agrupar estes pequenos componentes. O eixo $\frac{1}{2}$ e o eixo 5^a estão juntos num contentor. O mesmo acontece para o eixo $\frac{3}{4}$ e o eixo marcha atrás. A alavanca comando e módulo comando (ND) estão em contentores separados.

Tendo estes aspetos em conta, o *layout* do pólo de preparações foi desenhado. O pólo foi dividido em 3 zonas: Zona JR, ND e *kanban*, sendo que a estante de base móvel é comum à zona JR e ND, pois tem componentes de ambas. Há também uma zona destinada a *stock* de segurança.



Dependendo do que estiver a ser produzido, o AGV vai parar na zona JR ou na zona ND. Para minimizar as deslocações entre AGV e os contentores, vai ser implementado uma pequena estante de *stock* intermédio (a branco na imagem) ao lado da zona de paragem de AGV, que consegue suportar alguns componentes. Após a validação por parte do operador, o AGV segue em direcção à zona 400.

O *kit* para a OP175 ficará na parte inferior do pólo de preparações e será realizado no futuro após validação do *kit* para a zona 400 e estudo semelhantes têm que ser efetuados.

Com a centralização de várias peças num único espaço, é possível eliminar as embalagens de grande dimensão na linha de montagem. Estas passam a estar num espaço central que é dedicado a preparações. Assim, a linha de montagem pode ficar com mais espaço livre, parecendo uma linha mais organizada, mais limpa.

4.5.1.6 Abastecimento zona 400

Após o AGV estar carregado com as 24 paletes, este dirige-se para a linha de montagem. Um esboço foi realizado para se perceber a dinâmica do AGV a abastecer a linha de montagem. Este trajeto não é o definitivo, mas sim apenas uma representação do que se deseja. Aquando do projeto, devem-se realizar testes no terreno antes de se implementar o percurso final.

Esta folha serve apenas para uma primeira análise da situação que foi estudada. Muitas variáveis podem ser mudadas no momento da implementação do sistema, pelo que a folha também deve ser atualizada adequadamente. Com os dados introduzidos relativamente às distâncias, velocidades, tempos de carregamento e descarregamento e uma margem (fator tráfego), o resultado foi de um AGV. Com um AGV é possível fazer todo o percurso sem haver falhas no abastecimento e consequentemente, a linha não vai parar devido a falha de componentes nos postos abastecidos.

4.5.2 Resultados esperados

Apesar deste projeto ainda não ter sido implementado no final do estágio, alguns resultados poderão ser estimados ou previstos. Sendo um pólo de preparações que centraliza vários tipos de peças de postos diferentes, as deslocações irão ser reduzidas drasticamente. Também as manipulações dos *kits* anteriores irão ser eliminadas, pois os novos *kits* irão permanecer sempre em cima do AGV, e, portanto, não há necessidade de manipulá-las. Abastecimentos de quantidades reduzidas nos postos também vão ser eliminadas, uma vez que cada vez que um AGV entra no pólo de preparações, o operador abastece 24 paletes *kits* de uma só vez. Numa fase inicial deverá haver alguma inatividade, pois a segunda fase do projeto só irá iniciar no próximo ano. Na figura 79, é estimada a possível evolução do VA/NVA. Há uma diminuição de aproximadamente de 17% em atividades sem valor acrescentado (deslocações, inatividade e manipulações de paletes *kit*)

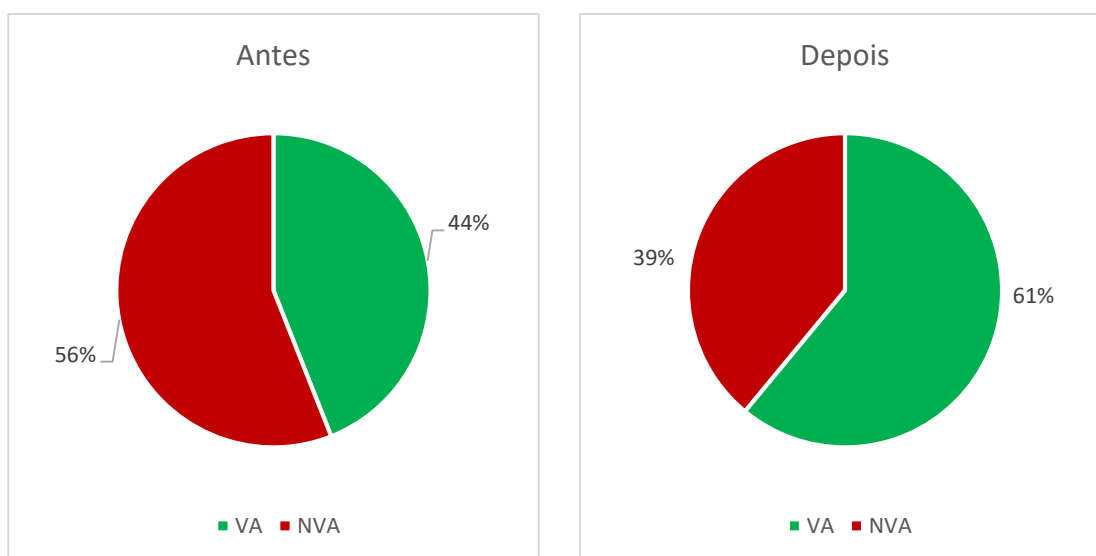


Figura 79 - VA/NVA estimado Zona 400

As distâncias percorridas pela *charlatte* irão ser reduzidas, pois em vez de ir abastecer à linha, o operador logístico passa a abastecer no pólo de preparações. Peças como os eixos de sincronização irão ser abastecidos diretamente no polo de preparações, sendo que o *stock* excessivo irá ser armazenado no armazém. Com a implementação de mais um sistema AGV, é possível automatizar mais um fluxo de material. Isto vai contribuir para a visão da Renault Cacia, em que todos os fluxos de material devem ser automatizados. Também contribui para o projeto zero empilhadores, zero *charlattes* na área de fabricação.

5. Conclusão

A Renault Cacia procura de forma incessante posicionar-se entre as melhores fábricas do Grupo Renault. Para isso, uma cultura de melhoria contínua tem que estar presente em todos os departamentos da fábrica.

O trabalho realizado e descrito ao longo deste documento fez parte do projeto *Lean* Caixas de Velocidade da Renault Cacia. Com a ambição da Renault Cacia ser mais uma vez distinguida pela Aliança Renault-Nissan como a melhor fábrica de caixas de velocidade entre fábricas da Renault e Nissan, o projeto focou-se sobretudo na melhoria da produtividade e rendimento operacional da linha de montagem, na redução de atividades sem valor acrescentado e na automatização de fluxos de material recorrendo a AGVs.

A análise dos tempos dos postos de trabalho foi importante para assim detetar quais os postos que não cumpriam com os requisitos para a procura desejada. Após a identificação dos postos críticos e das causas que contribuíam para a não performance da linha, várias ações foram implementadas de modo a que os postos trabalhassem abaixo do *Takt Time* necessário. Com os postos a trabalharem ao ritmo certo, a linha já é capaz de responder à procura. Assim, foi possível registar um aumento da produtividade na ordem dos 7%. Também foi possível reduzir a variabilidade de um posto automático, que punha em causa o rendimento operacional, através da melhoria dos postos a jusante que condicionavam o posto em questão. Neste caso, foi muito importante ter uma visão geral do comportamento da linha, pois só assim se compreenderam as causas da variabilidade deste posto. Os 5S foram importantes na medida em que através da organização de peças e ferramentas, limpeza do posto e standardização do mesmo, foi possível otimizar o modo operacional e reduzir o tempo de execução das tarefas necessárias à montagem da caixa de velocidades. Houve espaço também para o mapeamento de atividades com e sem valor acrescentado. Com a identificação do desperdício inerente, foi possível reduzir ou eliminar, as atividades que de fato não acrescentam valor à linha de montagem. De uma forma geral, foi possível melhorar a ergonomia de alguns postos e eliminar deslocações com e sem material que só atrasavam o posto em causa. O objetivo ideal seria eliminar todas as atividades sem valor acrescentado, mas devido a efeitos de qualidade, inspeção e controlo, estas têm que ser mantidas. Foi possível reduzir estas atividades em média, 25% repartido por 3 postos.

A aplicação de um *software* de simulação foi uma boa ferramenta para testar vários cenários diferentes e a partir daí tomar decisões. Com a simulação foi possível averiguar o efeito de várias soluções no sistema e verificar se estas alterações idealizadas, são ou não, viáveis de implementar em termos de produtividade. Indicadores como *Lead Time*, tempo de espera, tamanho de fila de espera, percentagem de utilização de recursos, *output* e *work in progress* foram analisados e comparados. Assim, foi possível compreender o comportamento do sistema ao longo de tempo nos diferentes cenários propostos. O uso desta ferramenta contribuiu para uma tomada de decisão mais consciente, fundamentada e eficaz.

Uma das missões da Renault Cacia é automatizar todos os fluxos de material dentro da empresa recorrendo a AGVs. A empresa pretende que na zona da fabricação/ produção/ montagem não haja nenhum empilhador ou *charlatte*. Foi possível implementar um sistema AGV e idealizar outro. Para a implementação com sucesso destes sistemas, vários fatores foram tidos em conta. Questões como o número de AGVs necessários, velocidade, rotas, posições dos AGVs ativos e inativos, tamanho da carga e localizações de carga e descarga

tiveram que ser abordadas e otimizadas de maneira a que a linha nunca parasse. Os sistemas AGV contribuíram para: a melhoria de ergonomia, o aumento de produtividade e eliminação de deslocações por parte do operador. O operador deixou de manipular entre 100 e 150 vezes contentores durante um turno. Num turno completo, isto corresponde: à eliminação do transporte de cargas pesadas entre 36 e 39 toneladas; a uma redução na distância percorrida entre 1,75 e 2,6 kms e a uma redução do tempo em movimento na ordem dos 50 minutos. Sendo um sistema automático e com características de segurança incorporadas, a probabilidade de ocorrer acidentes entre peões e veículos também diminuiu e consequentemente a segurança aumentou. O risco de haver peças danificadas durante o transporte também é minimizado. Uma das vantagens que se verificou, foi a nível logístico. Com estes sistemas, foi possível abastecer a linha nas quantidades certas, na altura certa, havendo uma sincronização entre fornecedor e cliente (internos), reduzindo assim, o *stock* no bordo de linha.

Em suma, o projeto atingiu os objetivos inicialmente propostos pela Renault Cacia. Com a inovação tecnológica e competitividade a crescer cada vez mais, é importante que as organizações estejam atentas às novas tendências para assim conseguirem antecipar as suas estratégias e manter a competitividade desejada ao longo do tempo.

6. Referências

- Abdi, F., Shavarini, S., & Hoseini, S. (2006). Glean Lean: How to Use Lean Approach in Services Industries? *Journal of Services Research* 6, 191–206.
- Acciaro, M., & Wilmsmeier, G., 2015. Energy efficiency in maritime logistics chains. *Research in Transportation Business & Management* 17, 1-7.
- Alonzo, K., Nagy, B., Stager, D., & Unnikrishnan, R. (2007). Field and service applications - An infrastructure-free automated guided vehicle based on computer vision - An effort to make an industrial robot vehicle that can operate without supporting infrastructure. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 14, 24-34.
- Asef-Vaziri, A., Dessouky, M., & Srisikandarajah, C. (2001). A loop material flow system design for automated guided vehicles. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 13(1), 33–48.
- Atkinson, P. (2004). Creating and Implementing Lean Strategies. *Management Services*, 48(2), 18–33.
- Bateman, N., Hines, P., & Davidson, P. (2014). Wider applications for Lean. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(5), 550–568.
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715.
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), 5346–5366.
- Bell, S. C., & Orzen, M. A. (2011). *Lean IT: Enabling and Sustaining Your Lean Transformation*.
- Berger, A. (1997). Continuous improvement and kaizen: standardization and organizational designs. *Integrated Manufacturing Systems*, 89(2), 110 - 117.
- Bettonvil, B., del Castillo, E., & Kleijnen, J. P. C. (2009). Statistical testing of optimality conditions in multiresponse simulation-based optimization. *European Journal of Operational Research*, 199(2), 448–458.
- Bhasin, S., & Burcher, P. (2006). Lean Viewed as a Philosophy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(1), 56–72.
- Bowen, D., & Youngdahl, W. (1998). 'Lean' Service: In Defense of a Production Line Approach. *International Journal of Service Industry Management*, 9(3), 207–225.

- Chapman, C. D. (2005). Clean House with Lean 5S, *Quality Progress*, 38(6), 27– 32.
- Chen, J. C., Li, Y., & Shady, B. D. (2010). From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study. *International Journal of Production Research*, 48(4), 1069–1086.
- Cooper, K., Keif, M.G., & Macro, K.L. (2007). *Lean printing: pathway to success*.
- Craig, R.C., & Dale, S.R. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 360-387.
- Crute, V., Ward, Y., Brown, S., & Graves, A. (2003). Implementing Lean in aerospace - Challenging the assumptions and understanding the challenges. *Technovation*, 23(12), 917–928.
- Duffy, V. G., Wu, F. F., & Ng, P. P. W. (2003). Development of an Internet virtual layout system for improving workplace safety. *Computers in Industry*, 50(2), 207–230.
- Egbelu, P. J. (1993). Concurrent specification of unit load sizes and automated guided vehicle fleet size in manufacturing system. *International Journal of Production Economics*, 29(1), 49–64.
- Egbelu, P. J. (1993). Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to improve response time. *European Journal of Operational Research*, 71(1), 32-44.
- Egbelu, P. J., & Tanchoco, J.M.A. (1984). Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules. *International Journal of Production Research*, 22(3), 359–374.
- Fanti, M. P. (2002). Event-based controller to avoid deadlock and collisions in zone-control AGVS. *International Journal of Production Research*, 40(6), 1453–1478.
- Fazlollahtabar, H., Saidi-Mehrabad, M., & Balakrishnan, J. (2015). Mathematical optimization for earliness/tardiness minimization in a multiple automated guided vehicle manufacturing system via integrated heuristic algorithms. *Robotics and Autonomous Systems*, 72, 131-138.
- Freivalds, A., & Niebel, B.W. (2009). *Niebel's Methods, Standards and Work Designs*, 12th Edition. McGraw-Hill.
- Fullerton, R.R., & McWatters, C.S. (2002). The role of performance measures and incentive systems in relation to the degree of JIT implementation. *Accounting, Organizations and Society*, 27(8), 711–735.
- Gaskins, R.J., & Tanchoco, J.M.A. (1987). Flow path design for automated guided vehicle systems. *International Journal of Production Research*, 25(5), 667–676.

- Gaskins, R.J., Tanchoco, J.M.A., & Taghaboni, F. (1989). Virtual flow paths for free-ranging automated guided vehicle systems. *International Journal of Production Research*, 27(1), 91–100.
- Geerlings, H., & Van Duin, R. (2011). A new method for assessing CO₂-emissions from container terminals: a promising approach applied in Rotterdam. *Journal of Cleaner Production*, 19, 657-666.
- Gibbons, P. M., Kennedy, C., Burgess, S. C., & Godfrey, P. (2012). The development of a lean resource mapping framework: introducing an 8th waste. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(1), 4-27.
- Goetz Jr, W.G., & Egbelu, P.J. (1990). Guide path design and location of load pick-up/drop-off points for an automated guided vehicle system. *International Journal of Production Research*, 28(5), 927–941.
- Gosavi, A., & Grasman, S.E. (2009). Simulation-based optimization for determining AGV capacity in a manufacturing system. In: *Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Research Conference*, Miami, FL, 574-578.
- Gürel, D.A. (2013). A conceptual evaluation of 5S model in hotels. *African Journal of Business Management*, 7(30), 3035-3042.
- Halwachs-Baumann, G. (2010). Concepts for Lean Laboratory Organization. *Journal of Medical Biochemistry*, 29(4), 330–338.
- Hao, Q., & Shen, W. (2008). Implementing a hybrid simulation model for a Kanban-based material handling system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(5), 635–646.
- Harrel, C. R., Ghosh, B. K., & Bowden, R. (1996). *Simulation Using Promodel*.
- Hayes, J. K., Reed, N., Fitzgerald, A., & Watt, V. (2014). Applying lean flows in pathology laboratory remodelling. *Journal of Health Organization and Management*, 28(2), 229–246.
- Hemmant, R.J. (2005), Customer Value through Employee Satisfaction. *Circuits Assembly*, 16(3), 30.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to Operations Research*.
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46–64
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011.

- Ho, G. T. S., Lau, H. C. W., Lee, C. K., & Ip, A. W. H. (2005). An intelligent forward quality enhancement system to achieve product customization. *Industrial Management & Data Systems*, 105(3), 384–406.
- Ho, S.K.M. (1997). Workplace learning: the 5–S way. *Journal of Workplace Learning*, 9(6), 185–191.
- Ho, S.K.M. (2010). Integrated lean TQM model for global sustainability and competitiveness. *The TQM Journal*, 22(2), 143–158.
- Hobbs, D.P. (2004). *Lean Manufacturing Implementation: A Complete Execution Manual for Any Size Manufacturer*.
- Hough, R. (2008). 5S implementation methodology. *Management Services*, 35(5), 44–45.
- Ilić, O. R. (1994). Analysis of the number of automated guided vehicles required in flexible manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 9(6), 382–389.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*.
- Jägstam, M., & Klingstam, P. (2002). A handbook for integrating discrete event simulation as an aid in conceptual design of manufacturing systems. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*.
- Jun O., Tamio A., Kousuke I., Ryousuke C., & Tomokazu H. (2000), *Flexible Transport System by Cooperation of Conveyor-Loaded AGVs*, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*
- Kannegiesser, M., Günther, H.-O., & Autenrieb, N. (2015). The time-to-sustainability optimization strategy for sustainable supply network design. *Journal of Cleaner Production* 108, 1-13.
- Kesen, S. E., & Baykoç, Ö. F. (2007). Simulation of automated guided vehicle (AGV) systems based on just-in-time (JIT) philosophy in a job-shop environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(3), 272–284.
- Kim, C. W., & Tanchoco, J. M. A. (1991). Conflict-free shortest-time bidirectional AGV routing. *International Journal of Production Research*, 29(12), 2377–2391. <https://doi.org/10.1080/00207549108948090>
- Kiran, A.S., & Tansel, B.C. (1989). Optimal pickup point location on material handling networks. *International Journal of Production Research*, 27(9), 1475-1486.
- Kobayashi, K., Fisher, R., & Gapp, R. (2008), Business improvement strategy or useful tool? Analysis of the application of the 5S concept in Japan, the UK and the US. *Total Quality Management*, 19(3), 245-262.

- Koning, H.D., Verver, J.P.S., Heuvel, J.V.D., Bisgaard, S., & Does, R.J.M.M. (2006). Lean six sigma in healthcare. *Journal for Healthcare Quality*, 28(2), 4–11.
- Krafcik, J. (1988). Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, 30(1), 41–52.
- Lake, H. (2008). Analysis of human resource management practices: Indonesia's labor intensive Light Manufacturing Industries. *SENADA Indonesia Competitiveness Program, The United States Agency for International Development, USA*.
- Lau, H. C. W., Jiang, B., Chan, F. T. S., & Ip, A. W. H. (2002). An Innovative Scheme for Product and Process Design. *Journal of Materials Processing Technology*, 123(1), 85–92.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*.
- Le-Anh, T., & De Koster, M. B. M. (2006). A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 171(1), 1–23.
- Liker, J. K. (1996). *Becoming Lean*.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *The Toyota Way Fieldbook*.
- Lyon, S. W., Quesada-Pineda, H. J., & Crawford, S. D. (2014). Reducing Electrical Consumption in the Forest Products Industry Using Lean Thinking. *BioResources*, 9(1), 1373–1386.
- Mahfouz, A., Shea, J., & Arisha, A. (2011). Simulation based optimisation model for the lean assessment in SME: A case study. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2403–2413.
- Mantel, R. J., & Landeweerd, H. R. A. (1995). Design and operational control of an AGV system. *International Journal of Production Economics*, 41(1–3), 257–266.
- Marasinghe, U. (2012). *Road to excellence: Incredible 5S for productivity improvement*.
- McHaney, R. (1995). Modelling battery constraints in discrete event automated guided vehicle systems. *International Journal of Production Research*, 33(11), 3023–3040.
- Mehok, K. (2012). What does Implementing Lean Mean for your Shop. *Shop Management*, 19–29.
- Melton, T. (2005). *The Benefits of Lean Manufacturing, What Lean Thinking has to Offer the Process Industries*.

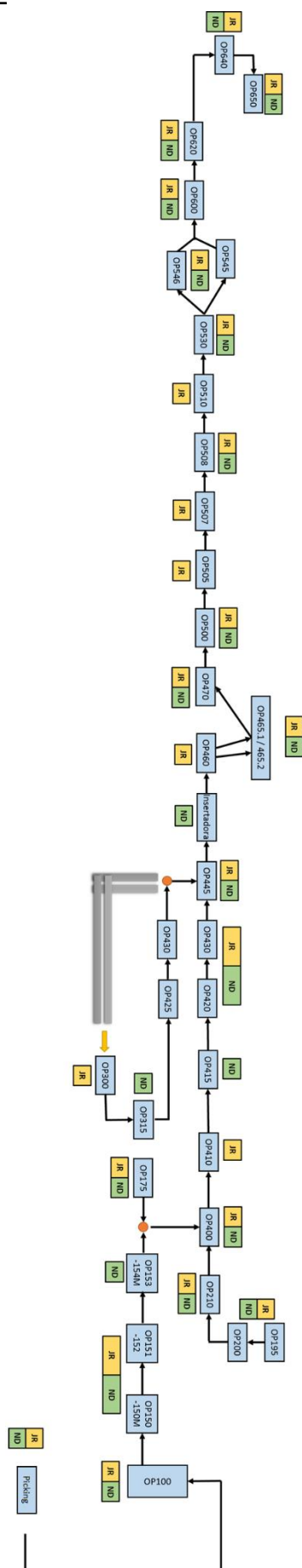
- Meyers, F.E., & Stewart, J.R. (2002). *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*.
- Mielczarek, B., & Uziako-Mydlikowska, J. (2012). Application of computer simulation modeling in the health care sector: a survey. *Simulation*, 88(2), 197–216.
- Monden, Y. (1993). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-Time*.
- Moorthy, R.L., Hock-Guan, W., Ng, W.-C., Chung-Piaw, T. (2003). Cycle deadlock prediction and avoidance for zone controlled AGV system. *International Journal of Production Economics*, 83, 309–324.
- Naseer, A., Eldabi, T., & Jahangirian, M. (2009). Cross-sector analysis of simulation methods: a survey of defense and healthcare. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 3(2), 181–189.
- Negahban, A., & Smith, J. S. (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 241–261.
- Ohno, T. (1988). *The Toyota Production System: Beyond Large-scale Production*.
- Ortiz, C. A. (2006). *Kaizen Assembly Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*.
- Osada, T. (1991). *The 5-S: Five Keys to a Total Quality Environment*.
- Ozden, M., (1988). A simulation study of multiple-load-carrying automated guided vehicles in a flexible manufacturing system. *International Journal of Production Research*, 26(8), 1353–1366.
- Patten, J.V. (2006). A second look at 5S. *Quality Progress*, 39(10), 55–59.
- Pegden, C. D., Sahnnon, R. E., & Sadowski, R. P. (1995). *Introduction to Simulation Using Siman*.
- Pichitlamken, J., & Nelson, B. L. (2003). A combined procedure for optimization via simulation. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 13(2), 155–179.
- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean: a filosofia das organizações vencedoras*.
- Rich, N., Bateman, N., Esain, A., Massey, L., & Samuel, D. (2006). *Lean evolution: Lessons from the workplace*. Cambridge University Press. New York.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, Inc, MA USA.
- Sargent, G. R. (2013). An Introduction to Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 321-327.

- Schiele, J. J., & McCue, C.P. (2011). Lean Thinking and Its Implications for Public Procurement: Moving Forward with Assessment and Implementation. *Journal of Public Procurement*, 11(2), 206–239.
- Schmidt, J. W., & Taylor, R. E. (1970). *Simulation and Analysis of Industrial Systems*.
- Shannon, R.E. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*. Prentice-Hall.
- Simon, R.W., & Canacari, E.G. (2012). A Practical Guide to Applying Lean Tools and Management Principles to Health Care. *AORN Journal*, 95(1), 85–103.
- Singh, S.P., & Tiwari, M.K. (2002). Intelligent agent framework to determine the optimal conflict-free path for an automated guided vehicles system. *International Journal of Production Research*, 40(16), 4195–4223.
- Sorooshian, S., Salimi, M., Bavani, S., & Aminattaheri, H. (2012). Experience of 5S Implementation. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(7), 3855–3859.
- Southworth, T. (2010). *Muda, mura, muri*. Label & Narrow Web, 15(8), 32.
- Staats, B. R., James, D., & Upton, D. M. (2011). Lean principles, learning, and knowledge work : Evidence from a software services provider. *Journal of Operations Management*, 29(5), 376–390.
- Steven, I. (2011). Leak Test Process: Using lean and 5S to drive the manufacturing process improvements. *Vulcan GMS Inc.*, 30–33.
- Stevenson, W. J. (2005). *Operations Management*, 8th Edition. McGraw-Hill.
- Teichgräber, U.K., & de Bucourt, M. (2011) Applying value stream mapping techniques to eliminate non-value-added waste for the procurement of endovascular stents. *European Journal of Radiology*, 81(1), 47–52
- Tersine, R. J., & Wacker, J. G. (2000). Customer-aligned Inventory Strategies: Agility Maxims. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(2), 114–120.
- Terzi, S., & Cavalieri, S. (2004). Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry*, 53(1), 3–16.
- Tiwari, S., Dubey, R., & Tripathi, N. (2011). The Journey of Lean. *Indian Journal of Commerce and Management Studies*, 2(2), 200-208.
- Vis, I. F. (2006). Survey of research in the design and control of automated guided vehicles. *European Journal of Operation Research*, 170, 677-709.
- Vlachos, I., & Bogdanovic, A. (2013). Lean thinking in the European hotel industry. *Tourism Management*, 36, 354–363.

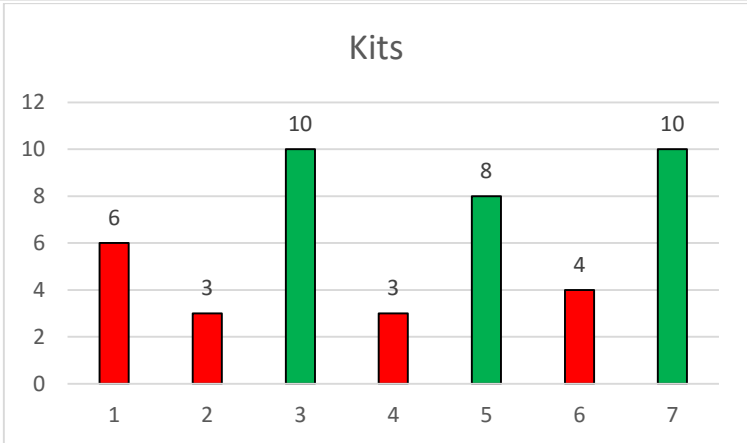
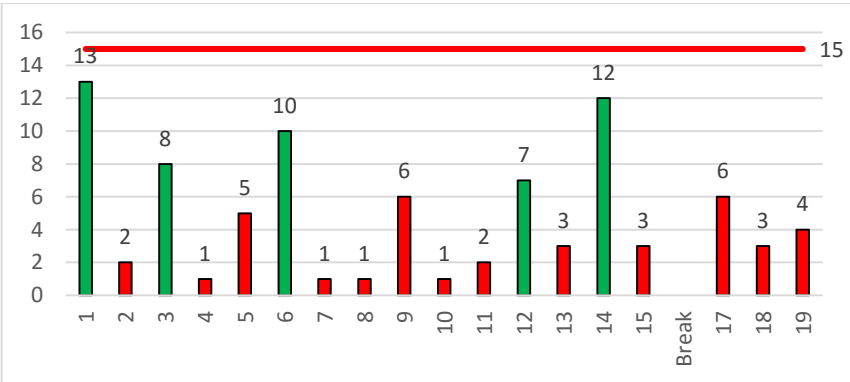
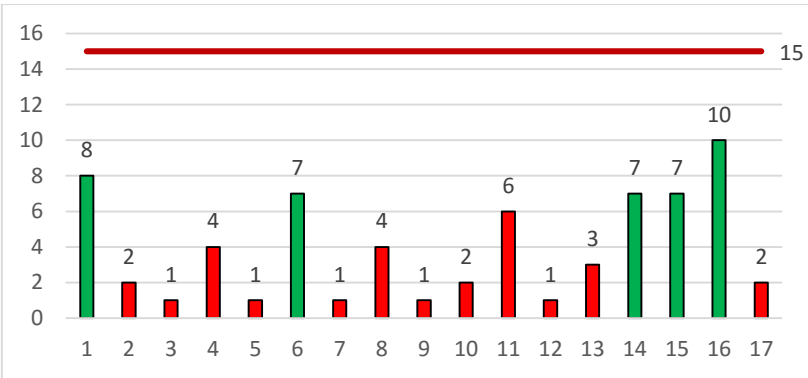
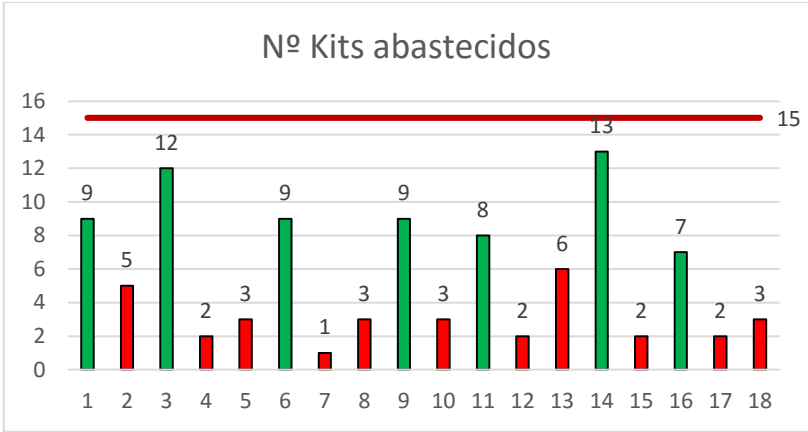
- Womack, J. P. & Jones, D.T. (2002). *Seeing the Whole: Mapping the Extended Value Stream*. Taylor & Francis.
- Womack, J. P., & Jones, D.T. (1996). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York, NY: Simon & Schuster.
- Womack, J. P., & Jones, D.T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Free Press.
- Womack, J. P., & Jones, D.T. (2005). Lean Consumption. *Harvard Business Review*, 83(3), 58–69.
- Womack, J.P., Jones, D.T., & Roos D. (1990). *The Machine that Changed the World*. Rawson Associates, New York.
- Wu, H., Lv, K., Liang, L., Hu, H., (2016). Measuring Performance of Sustainable Manufacturing with Recyclable Wastes: a Case from China's Iron and Steel Industry. *Omega*.

7. Anexos

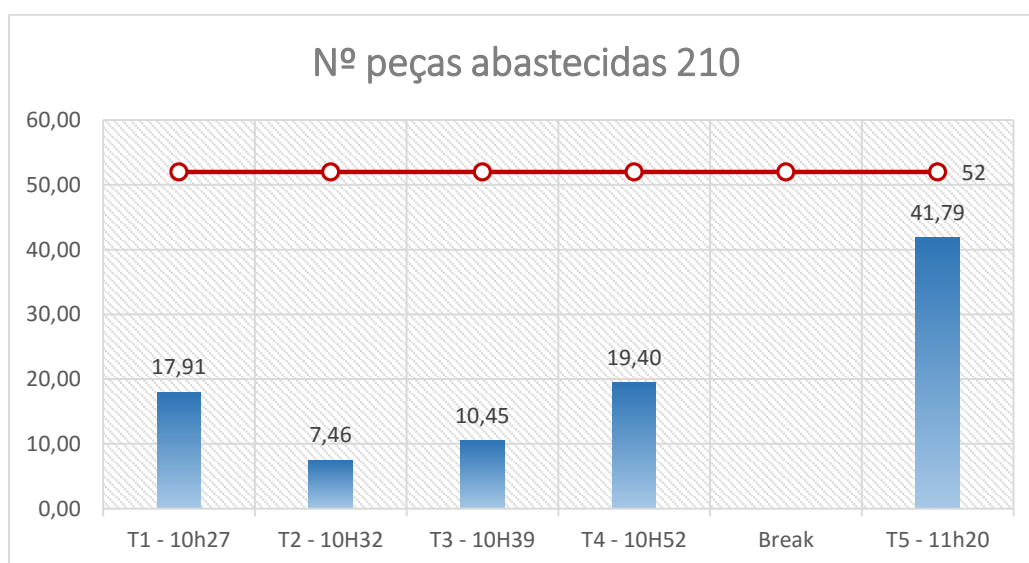
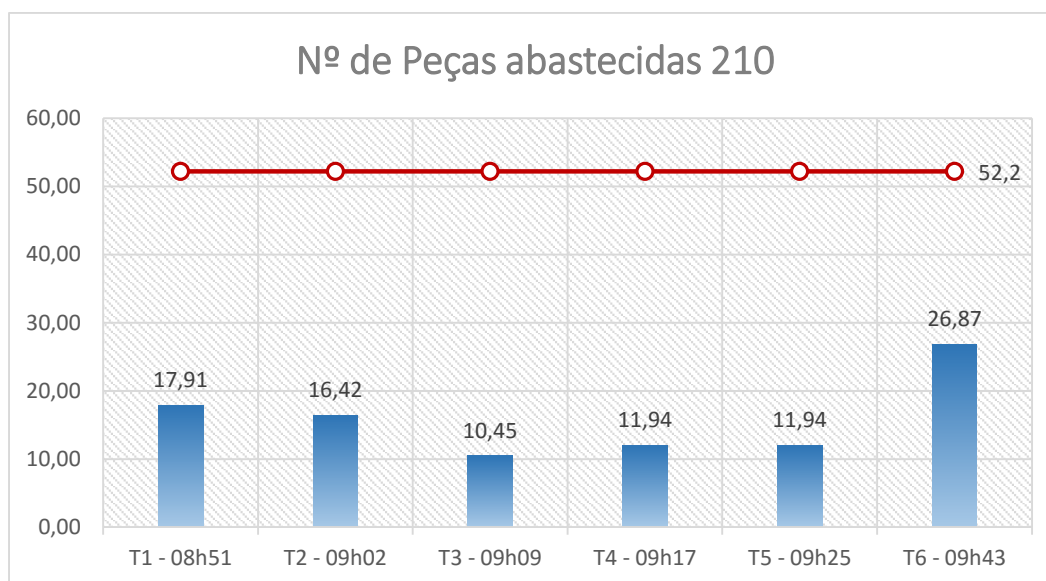
102



Anexo B – Análise ao número de *kits* abastecidos na OP415



Anexo C – Análise ao número de peças abastecidas na OP210



Anexo D – Desenho da paleta *kit* da Zona 400

